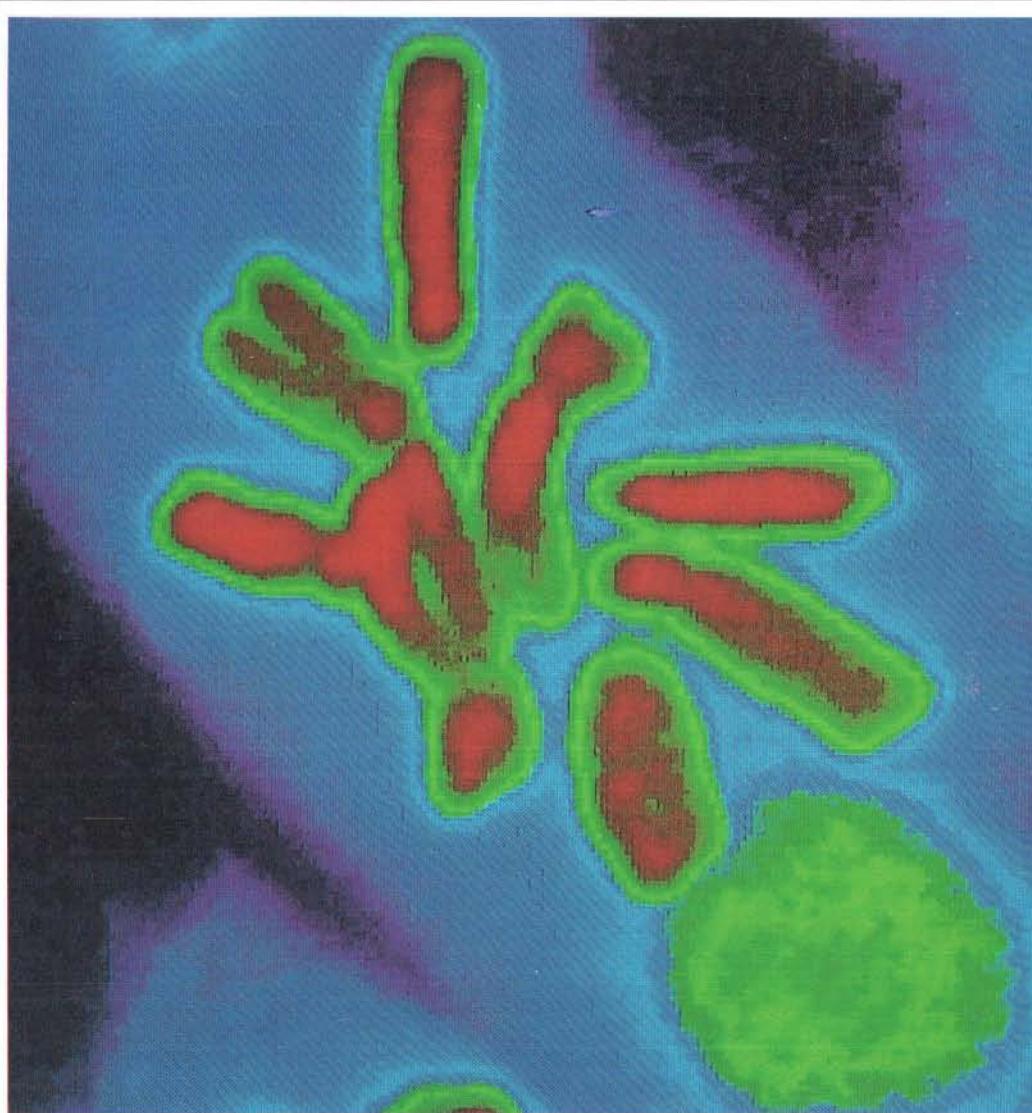


11

55<sup>e</sup> jaargang

# NATUUR '87 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



VLIEGEN IN STROPERIGE LUCHT/KAAS/PLANETOÏDEN/CSLM  
DE WISKUNDE VAN ERGERNIS/NATUURBOS

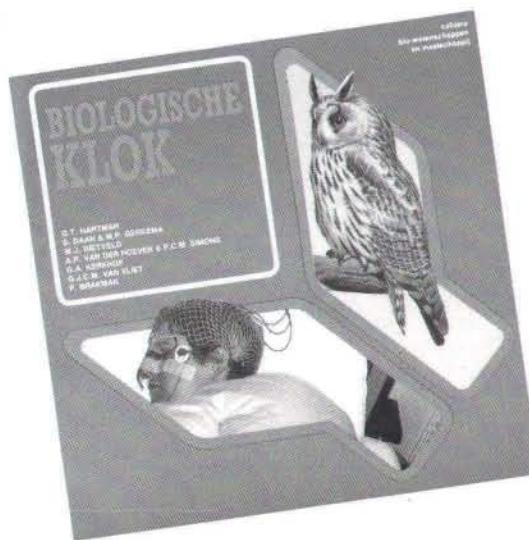
# Cahiers Bio-wetenschappen en Maatschappij

## BIOLOGISCHE KLOK

Het begrip biologische klok gebruikt men om aan te duiden dat allerlei biologische processen met een eigen vast ritme verlopen en dat deze ritmen goed op elkaar zijn afgestemd. Sommige ritmen worden bepaald door de afwisseling van dag en nacht, andere door de seizoenen, de maan- en getijeritmen of het gedrag van soortgenoten.

Ook de mens heeft een biologische klok, die in een bepaald deel van de hersenen is gelegen en lichaamsfuncties als ademhaling, hartslag, stofwisseling en de aanmaak van hormonen op elkaar afstemt. We merken er pas wat van als de klok verstoord raakt, bijvoorbeeld bij het 's nachts werken en het maken van lange vliegreizen in oostelijke of westelijke richting. Een probleem bij het tegengaan van die effecten is dat niet precies bekend is hoe de biologische klok werkt en hoe de inwendige ritmen elkaar beïnvloeden.

Onderzoek naar de biologische klok richt niet alleen op de aard ervan, maar ook op toepassingen. Een resultaat daarvan in de landbouw is dat chrysanten tegenwoordig het hele jaar door te krijgen zijn. Ook het aan de leg krijgen en houden van kippen is mogelijk door op hun biologische klok in te spelen. Bij de mens onderzoekt men op welk tijdstip bepaalde geneesmiddelen het beste toegediend kunnen worden, om een optimaal effect aan een zo laag mogelijke dosis te koppelen.



Voor abonnees op de Cahiers Biowetenschappen en Maatschappij is dit nummer 1 van de 12e jaargang.  
Abonnementsprijs (4 cahiers per jaar) f 25,00 of 485 F. Losse nummers f 7,50 of 145 F (excl. verzendkosten).

### Inhoud en auteurs

#### Voorwoord

Tijdsignalen  
G.T. Hartman

#### De evolutie van biologische ritmen

S. Daan en M.P. Gerkema

#### Op zoek naar de biologische klok

W.J. Rietveld

#### Beïnvloeding van biologische ritmen in de landbouw

A.P. van der Hoeven en P.C.M. Simons

#### 24-Uurs ritmen bij de mens

G.A. Kerkhof

#### De bloemenklok van Linnaeus

#### Het forceren van bolgewassen

G.J.C.M. van Vliet

#### Het hartinfarct in de ochtend

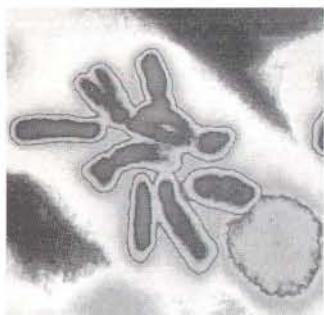
P. Brakman

Verkrijgbaar bij: Natuur en Techniek – Informatiecentrum – Op de Therken – Postbus 415 – 6200 AK Maastricht – Tel. 043-254044. Vanuit België: 00-31-43254044.

# NATUUR '87 & TECHNIEK

Losse nummers:  
f 9,25 of 175 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



## Bij de omslag

Deze opname van de chromosomen van smal streepzaad (*Crepis tectorum*) is gemaakt met de confocale scanning laser microscoop. Vijftien verschillende opnames werden ervoor gecombineerd; de kleuren zijn aangebracht door een computer (zie ook pag. 940 e.v.)

(Foto: E.A. van Spronsen, J.L. Oud, Universiteit van Amsterdam)

Hoofdredacteur: Th.J.M. Martens.

Adj. hoofdredacteur: Dr G.M.N. Verschuuren.

Redactie: Drs H.E.A. Dassen, Drs W.G.M. Köhler, Drs T.J. Kortbeek.

Secretaris: R. van Eck.

Redactiesecretaresse: T. Habets-Olde Juninck.

Redactiemedewerkers: A. de Kool, Drs J.C.J. Masschelein, Drs C.F.M. de Roos, Ir S. Rozendaal, Dr J. Willems.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir J.D. van der Baan, Dr P. Bentvelzen, Dr W. Bijleveld, Dr E. Dekker, Drs C. Floor, Dr L.A.M. v.d. Heijden, Ir F. Van Hulle, Dr F.P. Israel, Drs J.A. Jasperse, Dr D. De Keukelere, Dr F.W. van Leeuwen, Ir T. Luyendijk, Dr P. Mombaerts, Dr C.M.E. Otten, Ir A.K.S. Polderman, Dr J.F.M. Post, R.J. Querido, Dr A.F.J. v. Raan, Dr A.R. Ritsema, Dr M. Sluyser, Dr J.H. Stel, J.A.B. Verduijn, Prof dr J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof dr W. J. van Doorenmaalen, Prof dr W. Fiers, Prof dr H. van der Laan, Prof dr ir A. Rörsch, Prof dr R. T. Van de Walle, Prof dr F. Van Noten.

De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur en Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Grafische vormgeving: H. Beurskens, W. Keulers-van den Heuvel, J. Pohlen, M. Verreijt, E. Vlijgen, M. Rapparini.

Druk.: VALKENBURG OFFSET b.v., Echt (L.). Tel.: 04754-1223\*.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Tel.: 043-254044.

Voor België: Tervurenlaan 32, 1040-Brussel. Tel.: 00-3143254044

**EURO**  
ARTIKEL

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin NATUUR EN TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E TECNICA (I), TECHNOLOGY IRELAND (EI), PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR) en MUNDO SCIENTIFICO (E), met de steun van de Commissie van de Europese Gemeenschappen.



Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever en de auteur(s).

Een uitgave van



Centrale uitgeverij en adviesbureau bv.

ISSN 0028-1093

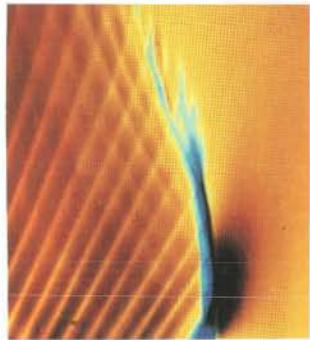
# INHOUD

AUTEURS	VIII
HOOFDARTIKEL Oerbos	IX

VLIEGEN IN STROPERIGE LUCHT	880
-----------------------------	-----

## A. Elsenaar

Vliegtuigen maken een oude droom van de mensheid waar: een toestel dat zwaarder is dan lucht en zich er toch in verheft. Niet het gewicht van de lucht blijkt bepalend te zijn voor het vliegvermogen, maar de viscositeit, de stroperigheid. Dit begrip wordt algemeen gebruikt in verband met vloeistoffen, maar heeft ook wel degelijk betrekking op gassen. Al kost het moeite om de buitenlucht als een stroperige massa te beschouwen, toch is deze gedachtersprong nodig om te begrijpen waarom een vliegtuig vliegt en niet als een baksteen uit de lucht komt vallen.



KAAS	892
------	-----

## Evolutie van een oude biotechnologie

### J. Stadhouders en G. van den Berg

Het eeuwenoude ambacht van het kaasmaken heeft zich gedurende de laatste decennia ontwikkeld tot een biotechnologisch proces. Het gaat immers om de toepassing van technologische, enzymatische, microbiologische en biochemische kennis. Stremsel en melkzuurbacteriën concentreren en conserveren het melkeiwit caseïne en het melkvet. Ook bij rijping van de kaas spelen de bacteriën een belangrijke rol. De kennis van de betreffende processen heeft een vrijwel perfecte procesbeheersing mogelijk gemaakt die leidt tot het breed scala van kaassoorten dat in de winkel te krijgen is.



PLANETOÏDEN	904
-------------	-----

## Puin in het zonnestelsel

### C. Froeschlé en C. Froeschlé

Planetoïden zijn in een baan om de zon draaiende kleine planeten met een diameter die varieert van slechts enkele tot honderden kilometers. Ze zijn lange tijd door de astronomen verwaarloosd. Wellicht echter vormen zij de sleutel tot de geschiedenis van het zonnestelsel. Bestudering van hun banen stelde onderzoekers voor problemen die zonder zeer geavanceerde analysetechnieken onopgelost zouden zijn gebleven. Heden ten dage is het planetoïdenonderzoek een wetenschap in volle ontwikkeling, die in de komende jaren tot een beter begrip van het zonnestelsel moet leiden.



# NATUUR '87 & TECHNIEK

november/ 55<sup>e</sup> jaargang/1987



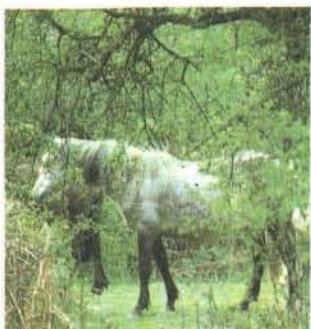
## WACHTEN

916

De wiskunde van ergernis

**W.P. Groenendijk en H.M. Nieland**

Je belt iemand op en krijgt steeds de in-gesprektoon. Na enige tijd proberen lukt het en dan blijkt de andere persoon helemaal niet in gesprek te zijn geweest. Een tijdelijke overbelasting van het telefoonssysteem dus. Filevorming en vertraging doen zich niet alleen in telefooncentrales voor; zeer veel systemen zijn gevoelig voor overbelasting. Voor de beheerders is het voorkomen daarvan van groot belang. Eén van de gehanteerde middelen is de wiskundige analyse van wachtrijtheorie.



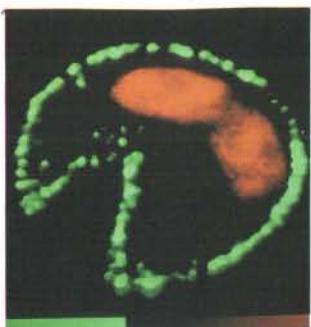
## NATUURBOS

928

Het oerwoud van de toekomst

**H.E. van de Lans en G. Poortinga**

Van ouds beschouwen eigenaars en beheerders bos als een houtproducerend bedrijf, maar ook als natuurgebied, geschikt voor jacht en recreatie. Het bos zou deze functies tegelijkertijd kunnen vervullen. In de Europese bosbouw wordt dit tegenwoordig aangeduid met de term multifunctioneel bos. Voortschrijdende kennis van de ecologie heeft deze opvatting echter ondergraven. Produktiefuncties maken de waarde van een bos voor natuurbehoud verwaarloosbaar klein. Anderzijds maakt natuurbehoud als doelstelling rationele houtproductie onmogelijk.



## CSLM

940

**G.J. Brakenhoff, N. Nanninga, H.T.M. van der Voort, J.A.C. Valkenburg en E.A. van Spronsen**

Door de opmars van de elektronenmicroscoop is de ontwikkeling van de gewone lichtmicroscoop jarenlang achtergebleven. Ten onrechte als men bedenkt dat aan de elektronenmicroscoop ook heel duidelijke nadelen kleven. Zo moet men altijd watervrij werken en is het erg moeilijk om een ruimtelijk inzicht in het te onderzoeken object te krijgen. Nieuwe lichtmicroscopische technieken hebben deze nadelen niet en zijn daardoor erg geschikt voor detailonderzoek aan biologische objecten. In dit artikel wordt één van die nieuwe technieken beschreven.

## ANALYSE EN KATALYSE

950

Supergeleiding: spel zonder grenzen/De pendel van het determinisme

## ACTUEEL/BOEKEN

958

## VRAGEN/PRIJSVRAAG/FOTO VAN DE MAAND

964

# de Wetenschappelijke Bibliotheek groeit

## Ongekend succes voor internationale boekenreeks

Twee jaar geleden startte de redactie van Natuur & Techniek in samenwerking met het bekende tijdschrift Scientific American met een bijzondere boekenserie: DE WETENSCHAPPELIJKE BIBLIOTHEEK. Het betreft hier de Nederlandstalige bewerking van de Scientific American Library, die in het Engelse taalgebied, met name in de Verenigde Staten, inmiddels een begrip is geworden. Op de Nederlandstalige uitgave van deze reeks, waarvan binnenkort het tiende deel verschijnt, hebben bijna 10.000 personen ingetekend. Zij maken nu regelmatig kennis met de nieuwste ontwikkelingen in wetenschap en techniek.

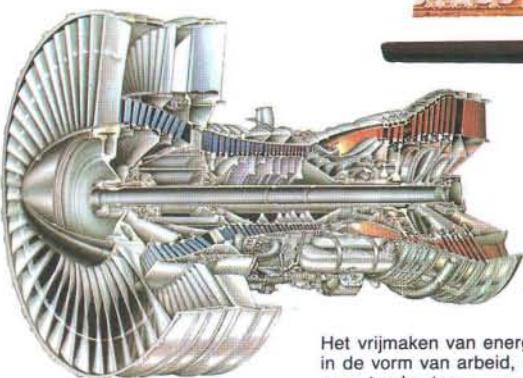
Op vele verzoek en gezien het grote aantal informaties dienaangaande bieden wij u thans opnieuw de mogelijkheid op deze boekenserie in te tekenen. Als u de in dit nummer gevoegde kaart instuurt, ontvangt u elk kwartaal een boek, *veertien dagen vrijblijvend op zicht*. Ook de op de volgende pagina's aangegeven reeds verschenen delen kunt u op dezelfde voorwaarden ter inzage krijgen. Voor elk boek dat u wenst te behouden, betaalt u als lid alléén de serieprijs. Alle boeken zijn ook los verkrijgbaar tegen de normale winkelprijs: f 74,50 of 1435 F. Als lid kunt u echter elk deel ook aan iemand cadeau doen tegen dezelfde serieprijs: f 49,75 of 955 F (voor de eerste zes delen f 45,- of 875 F).



Einstein en Chaplin, Hollywood 1931.



In 1988  
zullen verschijnen:



Het vrijmaken van energie  
in de vorm van arbeid, met  
een straalmotor.

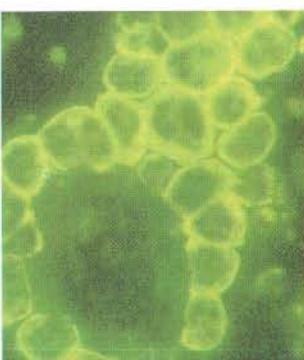
### 11 P.W. Atkins ENERGIE EN ENTROPIE De tweede hoofdwet van de thermodynamica

De auteur doorbreekt de wiskundige barrières die voor velen het doorgrenden van de 'Tweede hoofdwet' in de weg stonden en laat zien hoe één eenvoudig concept alle elementen van natuurkundige verandering omvat.

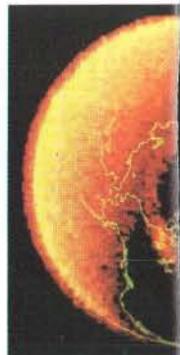
230 pagina's met 104 afbeeldingen  
In vierkleurendruk en zwart/wit

### 12 J.G. van den Tweel e.a. IMMUNOLOGIE Het menselijk afweersysteem

Een verkenningsreis van het fascinerende gebied van de immunologie, de wetenschap die ons afweermechanismen tegen ziekten bestudeert. Aan de orde komen o.a. de afweer tegen kanker en de strijd tegen immuundeficiëntieziekten als AIDS. 240 pagina's met ca. 200 afbeeldingen  
In vierkleurendruk en zwart/wit



Plasmacytoma met  
fluorescerende antilichamen.



**13 Julian Schwinger  
EINSTEIN . . . EN DAARNA  
De uitwerking van een geniale gedachte**

Met moderne technologische middelen probeert men de experimenten van Einstein te verbeteren en aanvullende bewijzen voor zijn relativiteitstheorie te vinden. Einsteins streven naar verdere unificatie staat hierbij centraal.

250 pagina's met 200 afbeeldingen  
In vierkleurendruk en zwart/wit



Het hakken van een gat in het dak voorkomt dat het vuur zich verspreidt.

**14 John W. Lyons  
VUUR  
De beheersing van het vlammenspel**

Vuur – geliefd als bron van energie, gevreesd als onberekenbare, alles vernietigende kracht. In de wetenschap zijn uitgebreide studies gewijd aan de chemische en fysische achtergronden van vlammen. Tegenwoordig richt het onderzoek zich vooral op brandpreventie.

170 pagina's met 126 afbeeldingen  
In vierkleurendruk en zwart/wit

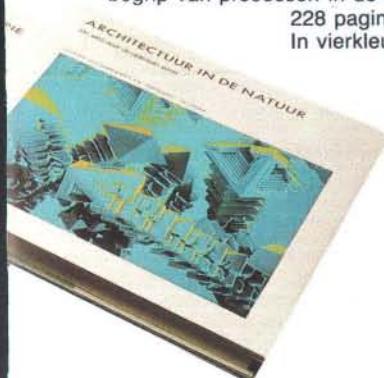
Eschers  
Möbiussstrip:  
eindeloos . . .



**15 Solomon H. Snyder  
PSYCHOFARMACA  
Hersenen onder invloed**

De toepassingen van psychofarmaca, chemische stoffen die de werking van onze hersenen beïnvloeden, zijn legio. Nauwe samenwerking tussen farmacologie en hersenonderzoek in deze eeuw heeft geleid tot een beter begrip van processen in de hersenen.

228 pagina's met 137 afbeeldingen  
In vierkleurendruk en zwart/wit



**In 1989 verschijnen:**

**16 Stefan Hildebrand en Anthony  
Tromba  
ARCHITECTUUR IN DE NATUUR  
De weg naar de optimale vorm**

Waarom is de aarde een bol en niet een kubus of een pyramide? Waarom maken bijen hun honingraatcellen zeshoekig? De wetenschap zoekt naar universele wetten, die ons kunnen helpen structuren en patronen in de natuur te begrijpen. 215 pagina's met 201 afbeeldingen  
In vierkleurendruk en zwart/wit

**18 Herbert Friedman  
ZON EN AARDE  
Een warme relatie**

De geweldige energiestroom die de zon voortdurend naar de aarde zendt, is een allesbeheersende factor in ons milieu. Wetenschappelijk onderzoek, vanaf de waarnemingen van Galilei tot de vluchten van de Space Shuttles, heeft ons inzicht in de relatie tussen zon en aarde sterk verdiept.

235 pagina's met 195 afbeeldingen  
In vierkleurendruk en zwart/wit



Computerbeeld van de dageraad boven de noordpool, gezien vanuit de Explorer I-satelliet.

**17 Steven M. Stanley  
UITSTERVEN  
Rampen markeren elk nieuw begin**

Fossiele vondsten duiden op perioden van massaal uitsterven van levende soorten op aarde. Op grond van geologische aanwijzingen concludeert de auteur dat wereldwijde klimaatsveranderingen de meest waarschijnlijke oorzaak hiervan zijn.

270 pagina's met 162 afbeeldingen  
In vierkleurendruk en zwart/wit

**MACHten VAN TIEN**

Dimensies in het heelal

**Reeds verschenen in de Wetenschappelijke Bibliotheek:****1 Philip Morrison en Phylis Morrison****MACHten VAN TIEN****Dimensies in het heelal**

Een fantastische reis in 42 stappen naar de grenzen van de ons bekende wereld, van de verste melkwegstelsels in het heelal tot de kleinste deeltjes in de microkosmos.  
164 pagina's met 312 afbeeldingen  
In vierkleurendruk en zwart/wit

**2 Richard C. Lewontin****MENSELIJKE VERSCHEIDENHEID****Het spel van erfelijkheid, milieu en toeval**

Het genetische erfgoed van de mens laat ruimte voor een rijke variatie in de geestelijke en lichameleke ontwikkeling van individuen.  
184 pagina's met 162 afbeeldingen  
In zwart/witdruk met steunkleur

**3 Steven Weinberg****BOUWSTENEN VAN HET ATOOM****De wetten van de natuurkunde**

Over de ontdekking van de fundamentele bouwstenen van het ooit als ondeelbaar beschouwde atoom: het elektron, het proton en het neutron.  
208 pagina's met 49 afbeeldingen  
In zwart/witdruk

**FOSSIelen**

Een beeld van de evolutie

**4 George Gaylord Simpson****FOSSIelen****Een beeld van de evolutie**

Het in één overkoepelende theorie onderbrengen van het selectieprincipe van Darwin en de genetica van Mendel was een doorbraak in de wetenschap. Fossiele vondsten ondersteunen de moderne evolutietheorie.  
248 pagina's met 259 afbeeldingen  
In vierkleurendruk en zwart/wit

**De prijs van deze eerste zes delen is voor leden van de Wetenschappelijke Bibliotheek f 45,- of 875 F. Indien u deze delen los bestelt f 69,50 of 1335 F.**

**MENSELIJKE VERSCHEIDENHEID**

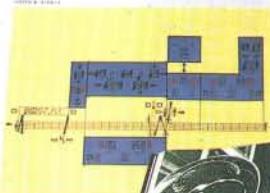
(Dit werk van architectuur, techniek en gezondheid)

**5 John R. Pierce****KLANK EN MUZIEK****Een combinatie van wetenschap en cultuur**

Wie iets van natuurkunde en wiskunde weet kan, volgens de auteur, nog meer van muziek genieten en begrijpen. Een verkenning van het grensgebied tussen fysica, muziek en techniek.  
256 pagina's met 213 afbeeldingen  
In vierkleurendruk en zwart/wit  
Met twee grammofonplaatjes

**KLANK EN MUZIEK**

Een combinatie van wetenschap en cultuur

**6 Roman Smoluchowski****HET ZONNESTELSEL****De aarde en haar kosmische buren**

De oorsprong, de geschiedenis en de toekomst van ons zonnestelsel. Met vele telescoopopnamen en satellietfoto's, speciaal voor de Nederlandse editie aangevuld met het meest recente materiaal.

180 pagina's met 214 afbeeldingen  
In vierkleurendruk en zwart/wit

**HET ZONNESTELSEL**

(De aarde en haar kosmische buren)



**7 Irvin Rock**

**BEELD EN VERBEELDING**

Ons mechanisme voor visuele waarneming

Hoe wij de vervormde, dubbelzinnige, tweedimensionale afbeelding op ons netvlies omzetten in het duidelijke, driedimensionale beeld dat wij van de wereld hebben.

256 pagina's met 245 afbeeldingen  
In vierkleurendruk en zwart/wit  
Met stereo-kijkertje

BEELD EN VERBEELDING



De prijs voor de volgende delen van de Wetenschappelijke Bibliotheek is f 49,75 of 995 F. Losse prijs f 74,50 of 1435 F.

NIET ATOM



**8 Thomas McMahon en John Tyler Bonner**

**DE MAAT VAN HET LEVEN**

Hoe de natuur haar eigen wetten gehoorzaamt

Met behulp van microscoop, camera en wiskundige modellen tonen de auteurs aan dat achter de veelvormigheid van het leven verrassend ordelijke verhoudingen schuilgaan.

272 pagina's met 308 afbeeldingen  
In vierkleurendruk en zwart/wit

LEVEN OP MAAT



**9 Christian de Duve**

**10 DE LEVENDE CEL deel 1  
en deel 2**

Rondreis is een microscopische wereld

Een introductie in de celbiologie en de biochemie. De auteur nodigt de lezer uit tot een excursie door de cel, waarbij kennis gemaakt wordt met de bouw van de cel, de verschillende onderdelen ervan en hun functies.

Deel 1

248 pagina's met 200 afbeeldingen  
In vierkleurendruk en zwart/wit

Deel 2

228 pagina's met 140 afbeeldingen  
In vierkleurendruk en zwart/wit

DE LEVENDE CEL



DE LEVENDE CEL



**ALS U LID WORDT**

Niet voor niets telt DE WETENSCHAPPELIJKE BIBLIOTHEEK al duizenden enthousiaste leden. Dat heeft te maken met de uitstekende kwaliteit van de boeken, maar ook met het door ons gekozen systeem, dat u een zorgeloos lidmaatschap garandeert:

- Geen verplichtingen. U ontvangt elk boek 14 dagen vrijblijvend op zicht,

ook de reeds verschenen delen die u bestelt.

- Geen risico. U betaalt pas als u besluit een boek te behouden.
- Prijsvoordeel. De prijs die u als lid voor een boek betaalt is aanzienlijk lager dan de prijs voor een los gekocht boek.
- U kunt op ieder moment uw lidmaatschap stopzetten.

## AUTEURS

---

**Ir. A. Elsenaar** ('Vliegen') is op 29 augustus 1943 in Amsterdam geboren. Hij studeerde vliegtuigbouwkunde aan de TH in Delft van 1960 tot 1967. Na twee jaar onderzoek in Canada trad hij in dienst van het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium, waar hij windtunnelonderzoek doet voor onder meer Fokker en Airbus.

**Dr ir J. Stadhouders** ('Kaas') is geboren in Boxtel op 2 augustus 1926. Hij studeerde levensmiddelentechnologie aan de Landbouwhogeschool in Wageningen, waar hij in 1956 ook promoveerde. Tot hij onlangs met de VUT ging, was hij verbonden aan het Nederlands Instituut voor Zuivelonderzoek in Ede, laatstelijk als hoofd van de afdeling microbiologie.

**Ir G. van den Berg** ('Kaas') is op 11 december 1937 in Zwolle geboren. Hij studeerde zuivelbereiding aan de Landbouwhogeschool in Wageningen van 1954 tot 1963. Daarna werd hij hoofd van het laboratorium van Frico in Leeuwarden. Sinds 1969 werkt hij aan het Nederlands Instituut voor Zuivelonderzoek.

**Christiane en Claude Froeschlé** ('Planetoïden') zijn beiden als astronoom verbonden aan het observatorium van Nice (F). Zij houden zich daar vooral bezig met de dynamische ontwikkeling van het zonnestelsel, in het bijzonder bestuderen zij planetoïden en kometen.

**Drs W.P. Groenendijk** ('Wachten') is geboren in Utrecht op 10 december 1961. Hij studeerde wiskunde aan Rijksuniversiteit van Utrecht. Vervolgens trad hij in dienst van het Centrum voor Wiskunde en Informatica, waar hij zich bezig houdt met onderzoek van wachtproblemen met nadruk op prestatie, analyse en computersystemen.

**Dr H.M. Nieland** ('Wachten') is op 18 juni 1938 in Den Helder geboren. Hij studeerde theoretische fysica aan de Rijksuniversiteit te Utrecht. Na zijn promotie in Nijmegen was hij onder andere verbonden aan het Lebedevinstituut in Moskou en de Dienst Wetenschapsvoortlichting van de KNAW. Sinds 1986 werkt hij aan het Centrum voor Wiskunde en Informatica in Amsterdam.

**Drs H.E. van der Lans** ('Natuurbos') is geboren in Makassar op 20 september 1948. Hij studeerde biologie aan de Rijksuniversiteit in Groningen. In 1979 richtte hij de Stichting Ecoplan op, een biologisch adviesbureau. Daarnaast is hij medewerker ecologisch beheer van de provincie Noord-Holland.

**Drs G. Poortinga** ('Natuurbos') is op 23 september 1950 in Menaldum geboren. Hij studeerde biologie in Groningen en bedrijfseconomie aan de Vrije Universiteit te Amsterdam. Hij is auteur van een boek over zure regen en (samen met Van der Lans) een boek over natuurbos in Nederland.

**Dr G.J. Brakenhoff** ('CSLM') is geboren in Koog a/d Zaan op 9 juli 1939. Hij studeerde natuurkunde aan de Universiteit van Amsterdam, waar hij in 1970 promoveerde op een onderzoek op het gebied van plasmafysica. Sindsdien houdt hij zich met elektronen- en lichtmicroscopie bezig.

**Prof dr N. Nanninga** ('CSLM') is in Onstwedde geboren op 31 oktober 1937. Hij studeerde biologie in Groningen en Amsterdam (UvA), aan welke laatste universiteit hij in 1970 promoveerde. Sinds 1976 is hij er hoogleraar elektronenmicroscopie en sinds 1981 hoogleraar moleculaire cytologie.

**Dr J.A.C. Valkenburg** ('CSLM') is op 29 september 1955 in Rotterdam geboren. Hij studeerde biologie aan de Rijksuniversiteit te Utrecht. Na zijn afstuderen begon hij aan zijn promotieonderzoek naar de nucleoïed van *E. coli*. Sinds 1985 is hij verbonden aan de afdeling biotechnologie van de UvA.

**Drs H.T.M. van der Voort** ('CSLM') is in Amsterdam geboren op 26 augustus 1955. Hij studeerde natuurkunde aan de Universiteit van Amsterdam. Sinds 1979 is hij verbonden aan de vakgroep elektronenmicroscopie en moleculaire cytologie van de UvA.

**Drs E.A. van Spronsen** ('CSLM') is op 3 april 1956 in Amsterdam geboren. Hij studeerde biologie aan de Universiteit van Amsterdam en verricht er sinds 1984 een promotieonderzoek naar de celcyclus van gist, met behulp van confocale microscopie.

## Oerbos

In hun artikel op pag. 928 geven Hans E. van der Lans en Gerben Poortinga een 'technologie van het oerbos'. Op basis van een theorie over het woud dat ooit de Lage Landen moet hebben bedekt, ontwikkelen ze een reeks handelingsvoorschriften die tot het ontstaan van een bos zou moeten leiden dat identiek zou zijn aan wat er heel vroeger, waarschijnlijk voor de jongste ijstijd, moet zijn geweest.

Om te beginnen plaatsen ze ons voor een aardig filosofisch probleem: in hoeverre is een via theorie en daaruit afgeleide technologie tot stand gebracht geheel kunstmatig bos, dat overigens identiek is aan een via een langdurige evolutie ontstaan oerbos, zelf wel of niet als een oerbos te beschouwen? Het probleem lijkt sprekend op de vraag of een computerprogramma dat het apparaat kan brengen tot 'menselijk gedrag' als bijvoorbeeld lachen of huilen, inderdaad menselijke eigenschappen heeft. De discussie daarover is nog niet afgesloten, maar in het algemeen kan worden gezegd dat de tegenstanders van het principe van Thuring ('als onbevoordeelde derden geen verschil kunnen constateren is er geen verschil') het steeds moeilijker krijgen hun standpunt logisch houdbaar te maken.

Het artikel plaatst ons – en daarmee bedoelen we hier de wetenschappelijke wereld, inclusief de financiers daarvan – ook voor een uitdaging. Er is een redelijke, zij het waarschijnlijk op een aantal punten nog wel wat te verfijnen, theorie. Die theorie vormt de basis voor een flink aantal gedetailleerde en toetsbare hypotheses. Het artikel geeft in dat opzicht zelf een aantal varianten aan, benevens de voorspelde uitkomsten. Toetsing en verbetering van de theorie lijkt zelf al meer dan voldoende reden om het experiment maar eens uit te voeren en ergens een stuk oerbos te reconstrueren.

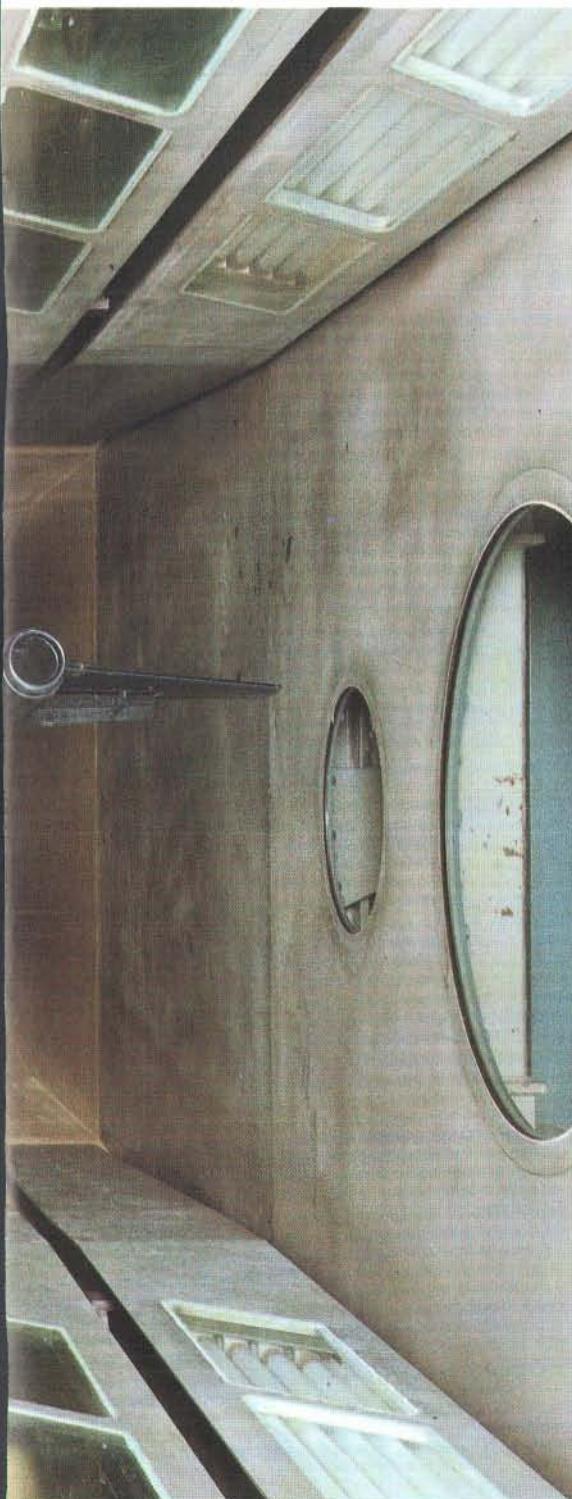
Mocht het experiment slagen, dan is daarmee een zeer rijke bron voor verdere ecologische studies ontstaan, met zeer veel meer mogelijkheden dan er op dit moment zijn te voorzien.

Onmogelijk kan het niet zijn. De aanzienlijke overproductie van landbouw en veeteelt maakt het onttrekken van een hoeveelheid landbouwareaal aan de productie eerder aantrekkelijk.

Gezien de omvang en de produktiviteit van de moderne, intensieve bedrijven en de nogal arbeidsintensieve technologie van het oerbos kan de werkgelegenheid ook het argument niet zijn om zo'n experiment na te laten. De aanleg van het oerbos zou waarschijnlijk meer mankracht per hectare vergen dan het huidige boerenbedrijf.

Het grote probleem wordt gevormd door de (aanloop)kosten, zeker bij de huidige prijzen van landbouwgrond. Voor een deel zouden die wellicht kunnen worden betaald uit landbouwsubsidies die voor dat gebied niet meer nodig zouden zijn, voor een deel ook uit onderzoeksgeld voor de biologie. En zou er niet een van vervuiling verdacht bedrijf zijn dat een goede daad tegenover de natuur zou willen doen?





A. Elsenaar

Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium  
Amsterdam

## VLIEGEN

Alle vloeistoffen en gassen zijn meer of minder visceus, oftewel stroperig. Dat geldt ook voor de buitenlucht. Als lucht niet visceus was zou een vliegtuig niet kunnen vliegen. Om te begrijpen waarom een vliegtuig van start tot landing in de lucht blijft is enig inzicht in de rol van viscositeit van essentieel belang. In dit artikel is te lezen wat zich rond de vliegtuigvleugel afspeelt bij start, kruisvlucht en landing.

## IN STROPERIGE LUCHT

Een model van de Airbus in de Duits-Nederlandse Windtunnel die in de Noordoostpolder staat.

Op een vliegtuig werken verschillende krachten, die allemaal ontleed kunnen worden in horizontale en verticale componenten. Voorlopig stellen we de horizontale richting gelijk aan de vliegrichting. De vleugel wekt de belangrijke *lift* of draagkracht op. Die staat loodrecht op de vliegrichting en is even groot maar tegengesteld aan het gewicht van het vliegtuig. In de bewegingsrichting treedt een weerstands-kracht op die opgeheven wordt door de stuw-kracht van de motoren. Daardoor kan het vliegtuig zijn snelheid behouden. Zonder die snelheid zou er ook geen draagkracht of weerstand zijn.

Lift en weerstand vinden hun oorsprong in drie elementaire krachten die op een klein luchtvolume in de stroming werken: traagheidskrachten, drukkrachten en wrijvingskrachten. Zoals de krachten op het vliegtuig voortdurend in evenwicht zijn, zo zijn ook deze elementaire krachten op een luchtdeeltje in onderling evenwicht. De eerste twee elementaire krachten hangen samen met de luchtdichtheid of massa van de stroming (traagheidskrachten) en met drukverschillen in de stroming (drukkrachten). Dit geldt niet alleen voor de stroming rond een vliegtuig, maar ook voor wind. De windsnelheid hangt samen met lokale hoge- en lagedrukgebieden. De achttiende eeuwse natuurkundige Bernoulli heeft dit beschreven met de naar hem genoemde wet:

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{constant}$$

waarin P de druk is,  $\rho$  de luchtdichtheid en v de windsnelheid. In woorden: langs een stroomlijn neemt de druk af als de snelheid toeneemt en omgekeerd.

De derde elementaire kracht, de wrijvingskracht, wordt pas belangrijk als er grote snelheidsverschillen zijn. Dit kan het geval zijn als de lucht met grote kracht uit een straalmotor geblazen wordt of als de lucht langs het oppervlak van een vliegtuig stroomt. De wrijvingskracht hangt samen met de viscositeit van de lucht en wordt in principe veroorzaakt door de botsingen tussen snelle en langzame molekulen die daarbij energie uitwisselen. Dat werkt nivellerend op de in de stroming aanwezige snelheidsverschillen. Doordat de viscositeit van lucht echter zeer gering is, vindt deze energieuitwisseling slechts in een tamelijk dun laagje van de stroming plaats: de zogenaamde grenslaag. In de grenslaag kleeft de lucht als het wa-

re aan de huid van het vliegtuig vast. De invloed van de viscositeit wordt weergegeven door het getal van Reynolds, dat de verhouding aangeeft tussen traagheids- en wrijvingskrachten:

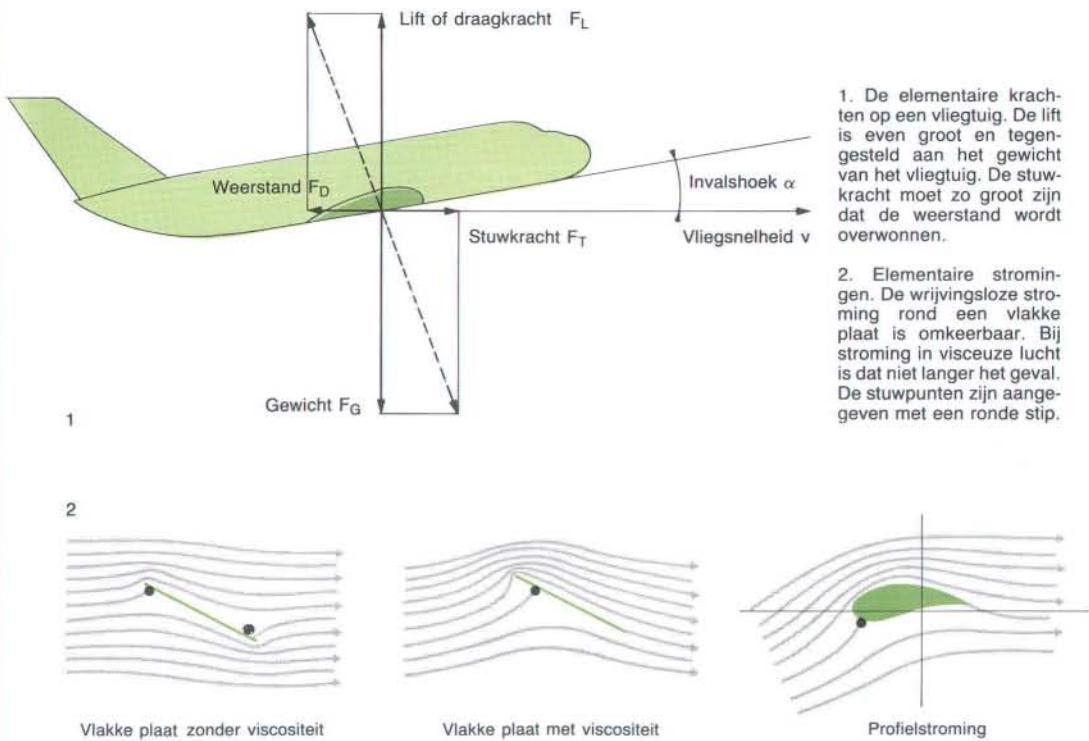
$$\text{Reynolds} = \frac{\text{traagheid}}{\text{wrijving}} = \frac{v \cdot \rho \cdot L}{\mu}$$

waarin  $\mu$  de viscositeit is en L een karakteristieke lengte, bijvoorbeeld de afstand tussen de voor- en achterrand van een vleugel (de koorde). Voor verkeersvliegtuigen komen bijvoorbeeld waarden voor van  $v = 220 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $\rho = 0,05 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  en  $\mu = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  waardoor het getal van Reynolds tussen de  $20 \cdot 10^6$  (Fokker 100) en  $70 \cdot 10^6$  (Boeing 747) uitkomt. Hoe hoger het getal van Reynolds, des te geringer de invloed van de wrijving en des te dunner de grenslaag in verhouding tot de lengte L. Aan de achterrand van een vliegtuigvleugel is de grenslaagdikte in de orde van enkele procenten van de vleugelkoorde.

De wet van Bernoulli geldt niet meer in de grenslaag. Hoewel door de viscositeit de luchtsnelheid afneemt, blijft de druk ongeveer constant. Dat komt doordat de grenslaag erg dun is. Er kan daarom een onderscheid worden gemaakt tussen de stroming buiten de grenslaag, waar viscositeit geen rol speelt en de wet van Bernoulli geldt, en de stroming in de grenslaag waar de snelheid varieert, maar de druk gelijk is aan die van de buitenstroming. In het limietgeval van de oneindig dunne grenslaag ontstaat de hypothetische wrijvingsloze stroming. Het getal van Reynolds gaat dan naar oneindig.

### Stroming rond een vleugelprofiel

Een vliegtuigvleugel in zijn meest elementaire vorm is een vlakke plaat die een kleine hoek (de invalshoek) maakt met de aankomende stroming. Bekijken we eerst de hypothetische wrijvingsloze stroming dan zien we een deel van de stroming over de plaat heengaan en een ander deel er onderdoor. De lijn die deze twee gebieden scheidt wordt de *scheidingsstroomlijn* genoemd. Aan de voorkant van de plaat, even onder de neus, eindigt het stroomopwaartse deel van deze bijzondere stroomlijn in een zogenaamd stuw punt. De luchtsnelheid is daar nul en volgens de wet van Bernoulli is de druk dan maximaal. De stroming die over de



plaat heen gaat moet scherp langs de voorrand buigen. Daarbij ontstaan er ter plaatse zeer hoge snelheden en dus lage drukken. Door het stuwpunt aan de onderzijde en het drukminimum aan de bovenzijde ontstaat er een drukverschil over de neus van de plaat: op de neus werkt een liftkracht.

Bij wrijvingsloze stroming vindt ongeveer hetzelfde plaats aan de achterzijde van de plaat. Heel algemeen geldt dat wrijvingsloze stromingen omkeerbaar zijn. Er ontstaat daarom even voor de achterrand, maar nu aan de bovenkant, een tweede stuwpunt waaruit het stroomafwaartse deel van de scheidingsstroomlijn vertrekt. Als gevolg van de omstroming van de achterrand ontstaat ook hier een drukverschil. De daardoor opgewekte draagkracht is even groot maar tegengesteld aan de liftkracht op de voorzijde van de plaat. In deze hypothetische wrijvingsloze stroming levert de plaat onder invalshoek dus uiteindelijk geen draagkracht. Dit gaat een beetje tegen het gevoel in. Deze ogenschijnlijke tegenstelling wordt de paradox van d'Alembert ge-

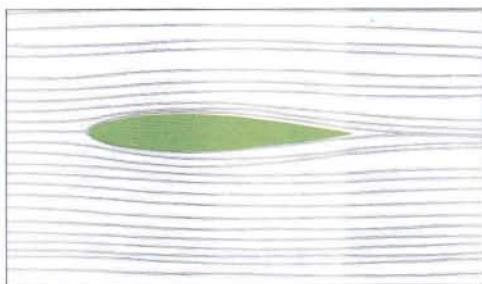
noemd, naar een wiskundige tijdgenoot van Bernoulli. De oplossing van de paradox is te vinden in de werking van de viscositeit.

Als gevolg van de viscositeit ontstaan er op de plaat grenslagen. Deze grenslagen beginnen in het voorste stuwpunt en lopen, in principe, door tot het achterste stuwpunt. Aan de voorrand van de plaat is de grenslaag nog dun. Door de hoge snelheid die aan de neus optreedt wordt de grenslaag als het ware meegesleept door de buitenstroming. Verder naar achteren toe groeit de dikte van de grenslaag. Dit betekent dat steeds meer lucht in de grenslaag als gevolg van de wrijving snelheid verliest. Eerder zagen we al hoe in de buurt van het achterste stuwpunt de druk toe- en de snelheid zeer sterk afneemt. De stroming in de grenslaag is echter al zo langzaam dat de snelheidsafname hier leidt tot stilstand of zelfs terugstromen van de lucht. De grenslaagstroming kan het oppervlak dan niet langer volgen: men spreekt van loslaten.

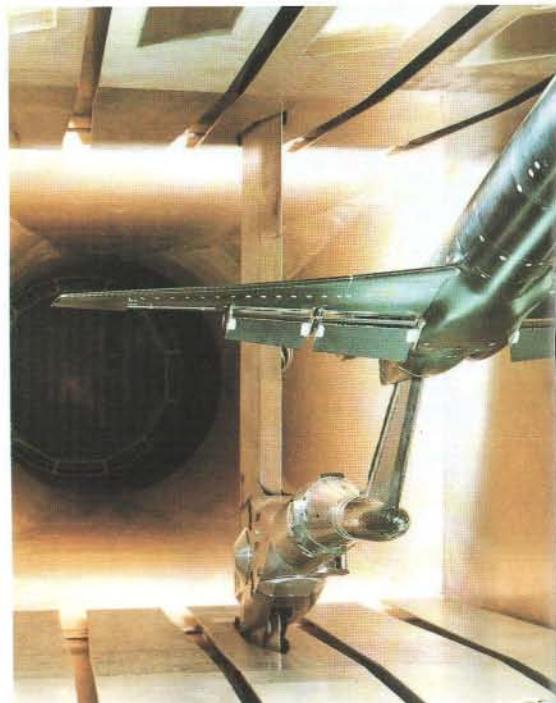
Als de grenslaag loslaat wordt de buitenstroming sterk beïnvloed. Er treedt een nieuwe si-

tuation op. Het stuwpunt aan de achterzijde verdwijnt en de stroomafwaartse scheidingsstroomlijn vertrekt nu vanaf de achterrand van de plaat. Daardoor verdwijnt het grote drukverschil over de achterzijde van de plaat, zoals dat in de wrijvingsloze stroming het geval was. Het drukverschil over de neus wordt echter niet aangetast en daarom levert de plaat onder invalshoek uiteindelijk wel draagkracht. De draagkracht ontstaat dus dank zij de viscositeit van de stroming. Daarnaast veroorzaken de grenslagen ook nog weerstand, de wrijvingsweerstand.

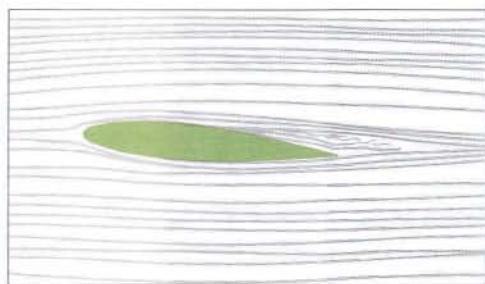
Een werkelijke vleugel heeft natuurlijk niet de vorm van een vlakke plaat. Het vleugelprofiel maakt in de eerste plaats de stroming rond de neus wat mooier. Daardoor wordt vermeden dat daar zeer hoge luchtsnelheden optreden. Het ontstaan van dergelijke snelheidspieken geeft weliswaar (lokaal) een lage druk en dus draagkracht, maar de kans bestaat dan dat de grenslaag al voor de achterrand loslaat met alle nadelige gevolgen van dien. De ontwerper probeert daarom snelheidspieken op het profiel zo veel mogelijk te vermijden door ronde



3



4



vormen te kiezen. De achterrand houdt men echter wel scherp. Voor de draagkracht is het juist gunstig dat daar de grenslagen loslaten.

De ontwerper zal verder het profiel dikte willen geven om de vleugel voldoende sterk te kunnen maken en om ruimte, voor bijvoorbeeld brandstoffanks, te creëren. Dit kan niet onbeperkt. Een dikker profiel betekent hogere lokale snelheden. Als deze snelheden te hoog worden ontstaat weer het gevaar van loslaten van de grenslaag en dus extra weerstand. De dikte van vleugelprofielen is meestal 10 à 20%

van de lengte van het profiel. Tenslotte kan het profiel nog enigzins worden gebogen (weling). Hierdoor bereikt men dat de gemiddelde snelheid aan de bovenkant van het profiel nog verder wordt vergroot (voor zover de grenslaag dat toelaat!), waardoor nog meer draagkracht ontstaat.

Behalve door een geschikte vorm kan de draagkracht ook worden vergroot door het profiel onder een grotere invalshoek te plaatsen. De toename in draagkracht verloopt linear met de invalshoek. Daarbij zal de snel-



3. Loslating van een vleugelprofiel. Wanneer een profiel onder een voldoende grote hoek met de stroming wordt gezet (rechts), laat de grenslaag los. Dit leidt tot energieverlies, dus weerstandsverhoging.

4. De Fokker 100 in één van de windtunnels van het Nederlandse Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium.



5

heidspiek aan de neus van het profiel toename, waardoor ook de weerstand iets toeneemt. Pas bij grotere invalshoeken wordt de snelheid zo hoog dat de grenslaag aan de achterrand los begint te laten; de weerstand neemt dan veel sneller toe. Bij nog grotere invalshoeken breidt de loslating zich zo ver over het profiel uit dat de stroming geheel wordt verstoord. Op het moment van loslaten heeft de draagkracht zijn hoogste waarde en neemt daarna zeer abrupt af. De maximale lift speelt een grote rol bij het vliegtuigontwerp.

### De vliegtuigvleugel

Zoals de druk volgens de wet van Bernoulli samenhangt met het kwadraat van de snelheid, zo varieert de draagkracht  $F_L$  van de vleugel evenredig met de stuwdruk  $\frac{1}{2} \rho v^2$ . Ook geeft een groter vleugeloppervlak  $A$  meer draagkracht. Daar de draagkracht gelijk moet zijn aan het vliegtuiggewicht  $F_G$  volgt dan:

$$F_G = F_L = \frac{1}{2} C_L \rho v^2 A$$

De evenredigheidsconstante  $C_L$  heet de draagkrachtcoëfficiënt.  $C_L$  volgt uit de vleugelvorm en neemt toe met toenemende invalshoek. Op soortgelijke wijze kan de vleugelweerstand

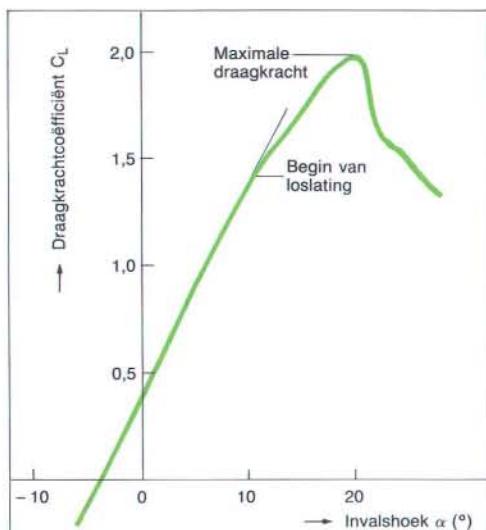
gebieden. Met respectievelijk geel, oranje en groen, blauw en paars zijn steeds lagere snelheden weergegeven. Deze tekeningen zijn het resultaat van berekeningen waarvoor grote en snelle rekenmachines noodzakelijk zijn.

$F_D$ , die de stuwdruk  $F_T$  van de motoren compenseert, worden geschreven:

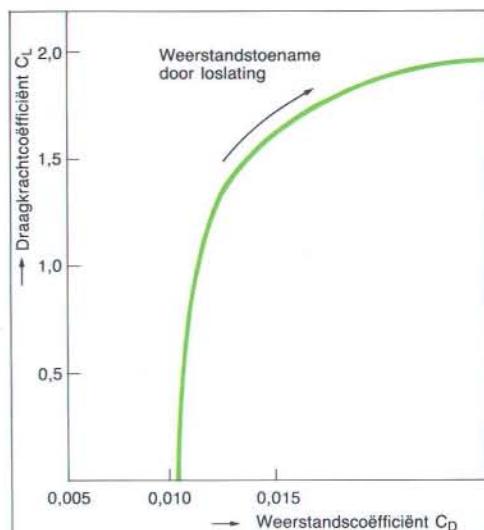
$$F_T = F_D = \frac{1}{2} C_D \rho v^2 A$$

waarin  $C_D$ , de weerstandcoëfficiënt, voorkomt. Daar de dichtheid  $\rho$  afneemt met de vlieghoogte is het uit oogpunt van weerstand voordeilig om hoog te vliegen.

De kwaliteit van een vleugel wordt uitgedrukt in het verhoudingsgetal  $C_L/C_D$ . Het is van belang deze lift/weerstandsverhouding tijdens de vlucht zo groot mogelijk te maken om



7



8

brandstof te besparen. Daaraan herkent men een goed vleugelontwerp.

De weerstand van een vliegtuig is voor het overgrote deel wrijvingsweerstand van de grenslagen die op de vleugel en de romp ontstaan. Daarnaast is er nog een andere bijdrage in de weerstand: de geïnduceerde weerstand, die het gevolg is van de luchtswervelingen die het vliegtuig veroorzaakt. Het ontstaan van de swervelingen kan men begrijpen door het scheidingsvlak in gedachten te nemen tussen de stromingen die onder en boven de vleugel langs gegaan zijn. Elke stroomlijn die van de vleugel bij dit vlak aankomt heeft een eigen richting. Daardoor ontstaan wervels op dit scheidingsvlak. De sterkste wervels ontstaan aan de vleugeltippen omdat daar de richtingsverschillen het grootst zijn. De wervels zijn soms, bij laaghangende bewolking, vanuit het vliegtuig tijdens de start zichtbaar achter de vleugel. De sterkte van de wervels neemt toe met de draagkracht. De energie die deze wervels bezitten gaat voor het vliegtuig verloren. Dit verlies veroorzaakt de geïnduceerde weerstand. Het is als het ware de prijs die moet worden betaald om lift op te wekken. De geïnduceerde weerstand verandert niet met de viscositeit van de lucht maar is evenredig met het kwadraat van de draagkracht en omgekeerd evenredig met de slankheid (de verhouding tussen de spanwijdte en de koorde) van de

7 en 8. De maximale draagkracht (7) speelt altijd een grote rol bij het vliegtuigontwerp. Zij bepaalt namelijk de veiligheidsmarges die gehouden moeten worden. Makkelijk is in te zien waarom dat zo is: als na het bereiken van de maximale draagkracht de invalshoek verder wordt verhoogd, neemt de draagkracht zeer snel af, wat fatale gevolgen kan hebben. In 8 is te zien dat de weerstand sterk toeneemt als de grenslaag eenmaal van het vleugelprofiel loslaat.

TABEL. . Vleugelgrootheden voor drie vliegtuigtypen

	Fokker 100	Boeing 747	Voyager
Vleugeloppervlak ( $m^2$ )	93	511	34
Slankheid	8,4	7,0	34
Spanwijdte (m)	28	60	34
Getal van Mach in kruisvlucht	0,75	0,85	0,1 à 0,2
Maximale afstand (km)	2300	9 000-13 000	41 843

$$\text{Slankheid} = \frac{\text{Spanwijdte}}{\text{Oppervlak}}$$

$$\text{Getal van Mach} = \frac{\text{Vliegsnelheid}}{\text{Geluidssnelheid}}$$

vleugel. Dus naarmate de vleugel slanker is neemt de geïnduceerde weerstand af. In het vleugelontwerp zal men er daarom naar streven de slankheid zo groot mogelijk te maken.

### De kruisvlucht

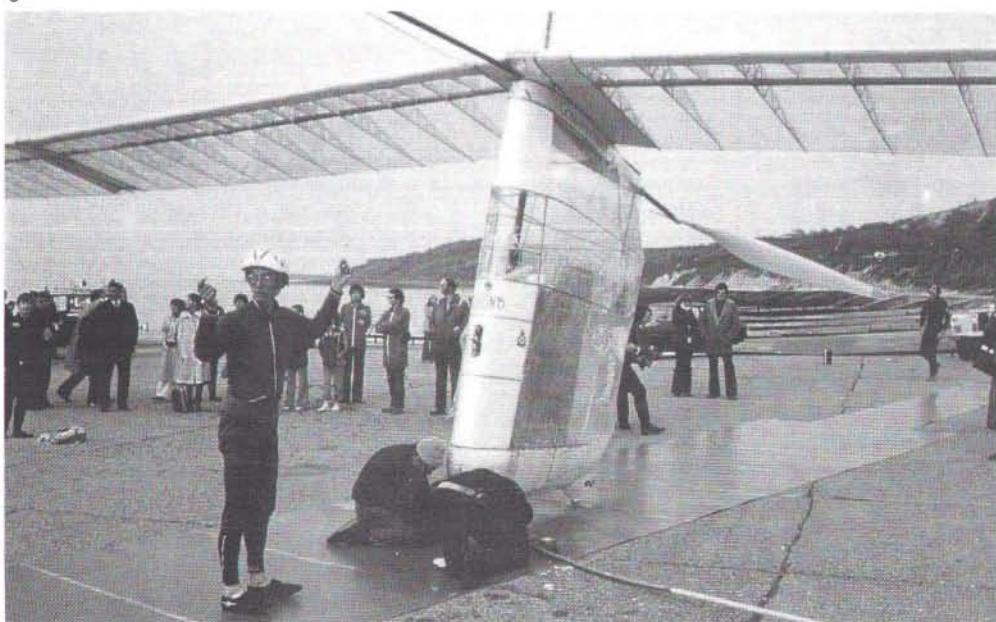
De economie van een vliegtuig wordt niet alleen bepaald door de vleugel maar ook door de motoren. De efficiëntie van de motoren hangt samen met de vliegsnelheid. Straalmotoren bereiken hun maximale rendement bij hogere vliegsnelheden dan propellormotoren. Voor turbofanmotoren, waarmee de meeste verkeersvliegtuigen op het ogenblik zijn uitgerust, geldt dat voor de combinatie van vliegtuig en motor het beste rendement wordt verkregen als het produkt van  $C_L/C_D$  en de vliegsnelheid zo groot mogelijk is.

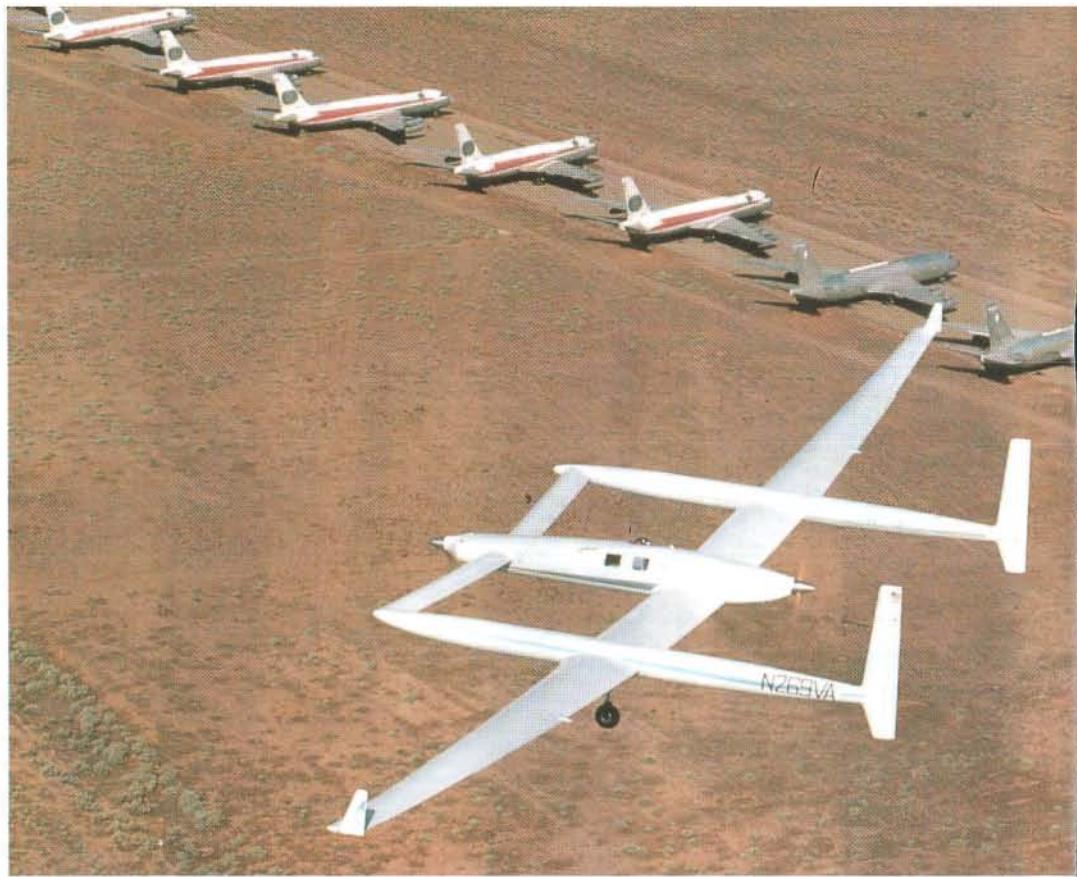
9. Op 12 juni 1979 vloog Bryan Allen, stevig doortrappend, de Gossamer Albatros over Het Kanaal tussen Engeland en Frankrijk. Niet alleen zijn stevige fietsbenen maakten deze eerste door menskracht uitgevoerde oversteek over Het Kanaal mogelijk. Belangrijker nog was het ontwerp van het vliegtuig. Ultralichte materialen en zeer speciale vleugelprofielen maakten de vlucht mogelijk. Voor deze machine werden zeer slanke vleugels ontworpen.

De snelheid kan echter niet willekeurig groot worden gekozen. Dit hangt samen met de samendrukbaarheid of compressibiliteit van de lucht. De stroomlijnen rond een vleugel buigen al vóór de vleugelneus af. Stroomopwaartse luchtdeltjes worden als het ware gewaarschuwd door druksignalen die van de vleugel komen. Die signalen planten zich voort met de snelheid van het geluid. Als de vleugel zelf echter sneller gaat dan het geluid worden de voorwaartse druksignalen ingehaald door de stroming. Er ontstaat dan een scherpe scheiding tussen de gebieden waarin de snelheid nog ongestoord is en waar de aanwezigheid van de vleugel wel merkbaar is. Op het scheidingsvlak ontstaat een schokgolf waarin de druk plotseling toeneemt. Wanneer een vliegtuig als de Concorde met supersone snelheid overvliegt hoort men op de grond deze schokgolf als de 'supersonne knal'. Omdat de geluidssnelheid een belangrijke rol speelt bij de omstroming van het vliegtuig ligt het voor de hand een speciale betekenis toe te kennen aan de verhouding tussen de vliegsnelheid  $v$  en de snelheid van het geluid  $a$ . Dit verhoudingsgetal wordt het getal van Mach genoemd:

$$\text{Mach} = \frac{\text{vliegsnelheid}}{\text{geluidssnelheid}} = \frac{v}{a}$$

9





10

Voor bijna alle moderne verkeersvliegtuigen, van de Fokker 100 tot de Boeing 747, is het getal van Mach in de kruisvlucht 0,75 à 0,85. De vliegsnelheid is dan weliswaar nog subsoen maar de snelheid van de stroming rond het profiel kan plaatselijk zo hoog worden, dat daar lokaal supersone snelheden optreden. Men spreekt dan van transsonne condities. Zolang de snelheid langs het vleugelprofiel toeneemt, ruwweg van de neus tot het punt van maximale dikte, levert dit geen problemen op. Die ontstaan pas als de stroming over het achterste deel van het profiel weer moet vertragen. In het gebied met supersone stroming kan geen informatie doordringen over wat er stroomafwaarts nog staat te gebeuren. De noodzakelijke snelheidsafname vindt daarom ook hier zeer abrupt plaats, met een schokgolf van beperkte hoogte die het supersone gebied afsluit.

In schokgolven gaat overigens energie verloren door botsingen tussen luchtmolekülen. Deze verliezen vinden we terug in de golfweerstand, een extra component van de weerstand die het vliegtuig ondervindt.

Om die golfweerstand te vermijden zal men het ontstaan van schokgolven willen voorkomen. Dat kan door de kruissnelheid laag te kiezen, of door het vleugelprofiel zo dun te maken zodat er geen supersone snelheden boven het profiel ontstaan. Pas de laatste 15 jaar is men in staat de profielvorm zodanig te kiezen dat er wel supersone gebieden ontstaan, maar dat de schokgolven desondanks zwak blijven. Het gaat er bij deze *superkritieke profielen* om de vorm in het supersone gebied, met name bij de neus, zodanig te kiezen dat al in het supersone gebied een geleidelijke en gecontroleerde snelheidsafname tot stand komt.



10. De Voyager vloog in december 1986 non-stop rond de wereld, maar deed er wel 12 dagen over. De kruissnelheid lag dan ook ongeveer vijfmaal zo laag als bij moderne verkeersvliegtuigen. Zeer slanke vleugels zorgen voor een geringe weerstand. De machine is bijna geheel gevuld met brandstoftanks. Leeg weegt de Voyager ongeveer 1400 kilo, volgepompt met brandstof komt daar nog eens ruim 4000 kilo bij. Het was dan ook een groot probleem het volgeladen vliegtuig aan het begin van de recordvlucht de lucht in te krijgen.

11. Een Airbus in de windtunnel, met een beeld van de stroming rond een vleugeltip. Aan het vleugeluiteinde zijn de zogenoemde tipwervels te zien die bijdragen aan de geïnduceerde weerstand. Op verschillende manieren probeert men het op die manier veroorzaakte energieverlies te beperken. Een methode bestaat uit het aanbrengen van tip vanes, dwars geplaatste vleugeltjes die de randeffecten verminderen. Zulke tip vanes zijn te zien bij de Voyager (10).

Met deze profielen zijn daarom hogere vliegsnelheden mogelijk. Men kan ook de vliegsnelheid op het 'ouderwetse peil' houden en het voordeel van het superkritieke profiel gebruiken om het profiel dikker te maken. Deze laatste mogelijkheid is vooral interessant omdat dikkere profielen een grotere vleugelslankheid mogelijk maken wat een lagere geïnduceerde weerstand geeft. Moderne vliegtuigen zoals de Airbus A 310 en A 320, de Boeing 757 en 767, en de Fokker 100 zijn voorzien van superkritieke profielen.

Het ontstaan van schokken kan ook worden beperkt door de vleugels in pijlvorm te bouwen. De sterkte van een schokgolf wordt uitsluitend bepaald door de stromingssnelheid in de richting loodrecht op de schok. Met toenemende pijlstelling wordt de schok daarom steeds zwakker. Om die reden hebben bijna alle verkeersvliegtuigen vleugels met pijlstelling. Voor gevechtsvliegtuigen zoals de F16 die sneller kunnen vliegen, is de pijlstelling nog belangrijker, tenzij zeer dunne vleugels worden gebruikt, zoals bij de F104 Starfighter.

De sterkte van de schokgolf neemt snel toe als bij een iets hogere draagkracht of bij een iets hoger getal van Mach wordt gevlogen. Dit heeft een zeer ongunstig effect op de weerstand. Daarom kruist een verkeersvliegtuig bij een nauwkeurig constant gehouden getal van Mach. De interactie van de schokgolf

11



met de grenslaag kan bovendien aanleiding geven tot een zeer abrupte loslating van de grenslaag waardoor de draagkracht plotseling kan wegvalen. Dit beperkt de bewegingsvrijheid van een vliegtuig in de kruisvlucht. Gelukkig is voor verkeersvliegtuigen tijdens de kruisvlucht een grote manoeuvreerbaarheid niet zo van belang. Voor gevechtsvliegtuigen is het daarentegen van het grootste belang bij deze transsonde condities nog goed te kunnen manoeuvreren.

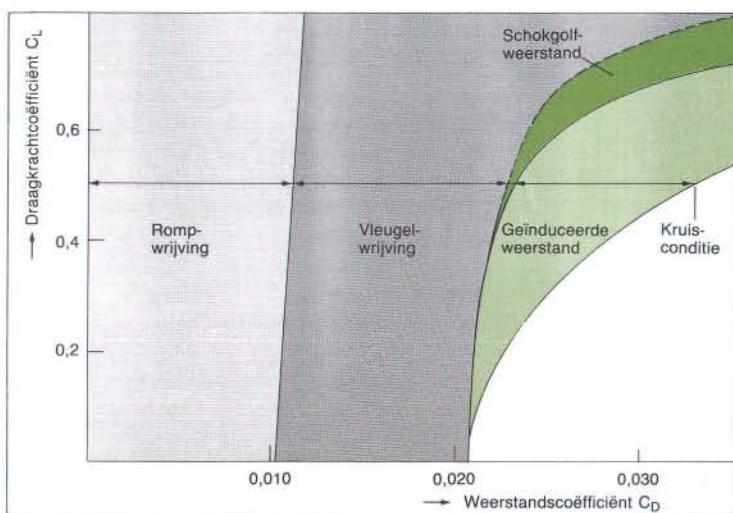
### Start en landing

Tijdens start en landing is ook voor verkeersvliegtuigen een hoge mate van manoeuvreerbaarheid vereist. De bovengeschreven relatie tussen snelheid en draagkracht maakt duidelijk dat hier een belangrijk probleem ligt. Immers, ook bij de lagere start- en landingssnelheden moet er voldoende draagkracht zijn om het vliegtuig in de lucht te houden. De draagkracht varieert echter met het kwadraat van de vliegsnelheid. Als de snelheid in de start één kwart is van de kruissnelheid moet de draagkrachtcoëfficiënt  $C_L$  zestien maal de waarde in de kruisvlucht zijn om de benodigde draagkracht te kunnen leveren.

Gelukkig helpt de natuur hier een beetje omdat de luchtdichtheid  $\rho$  afneemt met de hoogte. Op een vlieghoogte voor kruisvlucht van 10 km is de luchtdichtheid slechts 30% van die op

de grond. Verder zagen we reeds dat de draagkrachtcoëfficiënt toeneemt met de invalshoek. Door middel van de staartvlakken kan de stand van het vliegtuig, en daarmee de invalshoek, geregeld worden. We zagen echter ook dat loslating van de grenslaag de maximale draagkracht beperkt en een grotere invalshoek alléén blijkt daarom niet toereikend te zijn. Om nog hogere liftwaarden te realiseren is de vleugel aan de achterzijde en meestal ook aan de voorzijde van kleppen voorzien die tijdens start en landing worden uitgeslagen. Hierdoor wordt allereerst het effectieve vleugeloppervlak A vergroot. Nog belangrijker is echter dat voor een vleugel met uitgeslagen kleppen geldt dat de maximale draagkrachtcoëfficiënt ongeveer tweemaal zo hoog is als die van de enkele vleugel. Dit hangt direct samen met het gedrag van de grenslaag. Bij grote invalshoeken ontstaat er een hoge snelheidspiek aan de vleugelvoorrond. Daar de grenslaag in dat gebied nog dun is, kan deze de snelheidsafname na de piek in eerste instantie gemakkelijk volgen. Pas verder naar achteren op het profiel is er, als gevolg van de toegenomen grenslaagdikte, kans op loslating die uiteindelijk bepalend is voor de maximale draagkracht. Een vleugel met kleppen bestaat in feite uit een aantal losse profielen, zodat zich op elk profiel het hierboven geschatte beeld herhaalt. Op elke klep begint dus een dunne, zo men wil verse grenslaag. Het blijkt dan dat de verschillende

12



12. De weerstandsopbouw laat zien dat de wrijving die de romp ondervindt nauwelijks afhankelijk is van de draagkracht, dit geldt ook voor de wrijvingsweerstand van de vleugel zolang er geen loslating optreedt. De weerstandstoename met toenemende draagkracht zit aanvankelijk vooral in de geïnduceerde weerstand. Bij supersone snelheden komt er nog een bijdrage van de schokgolfweerstand.

13. Een model van de Europa I raket in de windtunnel van het NLR. Heel mooi zijn hier de schokgolven te zien die ontstaan bij supersone stroming.

grenslagen die op de kleppen ontstaan, gezamenlijk een veel grotere snelheidsverandering kunnen weerstaan zonder los te laten, dan bij een enkelvoudig profiel het geval zou zijn. Daarom leveren vleugels met kleppen uiteindelijk meer draagkracht. Ter illustratie de volgende getallen. De draagkrachtcoëfficient  $C_L$  in de kruisvlucht is meestal 0,4 à 0,5. De maximale  $C_L$  van een enkelvoudig profiel is 1,5 à 2,0. Voor een meervoudig profiel met uitgeslagen kleppen kan dit wel het dubbele worden, dus 3,0 à 4,0.

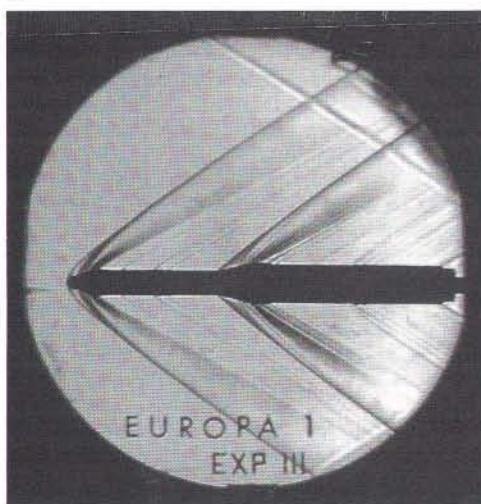
Tijdens de start worden de kleppen minder uitgedraaid dan tijdens de landing. In de start is een hoge draagkracht vereist bij een zo gering mogelijke weerstand. Weerstand is verlies en de stuwwereld van de motoren is vooral nodig om het vliegtuig sneller en hoger te laten vliegen. De kleppen worden dan ook zodanig uitgeslagen dat de grenslagen op de kleppen net niet loslaten. Loslaten betekent immers extra weerstand. Na de start worden de kleppen zo gauw mogelijk ingetrokken. Bij hogere vliegsnelheden zijn ze niet meer nodig en leveren ze slechts extra weerstand. In de landing slaat men de kleppen zeer ver uit. Om een zo laag mogelijke landingssnelheid te verkrijgen is een zo hoog mogelijke draagkrachtcoëfficiënt vereist. De grenslagen op de kleppen mogen daarbij best een beetje losgelaten zijn. Een beperkte loslaten heeft niet direct invloed op de draagkracht. En een beetje toename van de

weerstand is voor de landing zelfs gunstig: de snelheid moet toch afnemen.

Enmaal op de grond moet het vliegtuig snel worden afgemeld. De hoge draagkracht die tijdens de landing onmisbaar was, moet men nu zo snel mogelijk kwijtraken. Het vliegtuig kan dan met zijn volle gewicht op de baan drukken waardoor de wielen effectiever kunnen remmen. Dit verlies aan draagkracht wordt gerealiseerd door *liftdumpers*, rechthoekige kleppen boven op de vleugel die over een grote hoek worden uitgeslagen met als enig doel de mooie aerodynamische vorm van de vleugel grondig te verstoren. Dit geeft uiteraard zeer veel weerstand. Samen met de straalomkeerders aan de achterzijde van de motor, die de stuwwereld naar voren toe ombuigen, wordt de uitloop zo, duidelijk hoorbaar, tot een minimum beperkt.

We zien dus hoe in de allerlaatste fase van de vlucht de aerodynamica 'met bruit geweld' wordt toegepast. Voor alle andere vluchtkondities zoals start, kruisvlucht en landing, berust het vliegen op een subtiel aerodynamisch evenwicht tussen draagkracht en vliegtuiggewicht, weerstand en stuwwereld. De viscositeit van de lucht speelt daarin enerzijds een beperkende rol zoals geïllustreerd werd aan de hand van weerstand en maximale lift. Anderzijds speelt de viscositeit echter een onmisbare rol. Als de lucht niet een beetje stroperig was, zou vliegen onmogelijk zijn!

13



*De redactie dankt dr. G.P. Beukema, HBO-docent te Eindhoven, voor didactische adviezen bij het redigeren.*

#### Literatuur

Klaauw, B van der. Omgekeerde vleugelstand. Vlucht naar voren? Natuur en Techniek 1986: 54; 110-118  
Tennekes, H. Schaalregels in de vliegkunst. Natuur en Techniek 1979: 47; 180-199

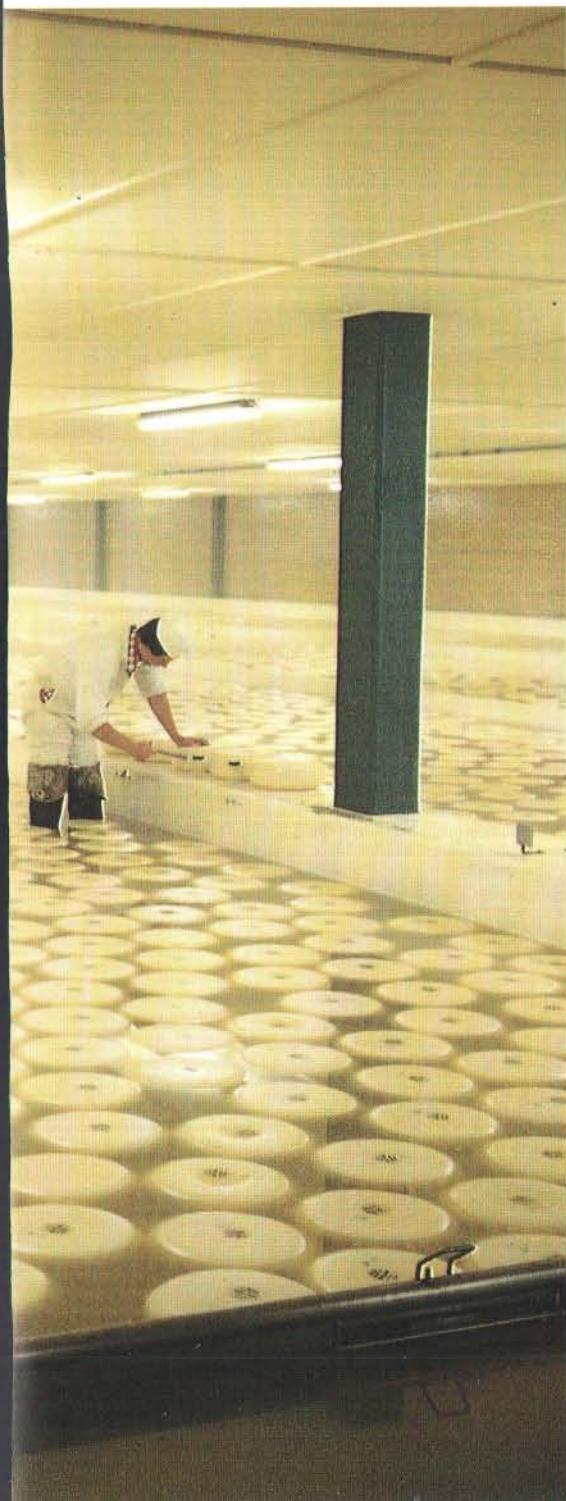
#### Bronvermelding illustraties

Stichting Duits-Nederlandse Windtunnel: pag. 880-881  
Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium, Amsterdam: 4, 13  
Fokker BV, Amsterdam: 5, 6  
Transworld Features Holland BV, Haarlem: 9, 10  
MBB, Hamburg, BRD: 11



## EURO ARTIKEL

J. Stadhouders  
G. van den Berg  
*Nederlands Instituut  
voor Zuivelonderzoek  
Ede*



# KAAS

---

*Evolutie  
van een oude  
biotechnologie*

Het eeuwenoude ambacht van het kaasmaken heeft zich gedurende de laatste decennia ontwikkeld tot een biotechnologisch proces. Het gaat daarbij immers om toepassing van kennis van technologische, enzymatische, microbiologische en biochemische aard. Om het gemechaniseerde en geautomatiseerde proces van het kaasbereiden goed te kunnen uitvoeren, is een grondig inzicht in de activiteiten van stremsel en melkzuurbacteriën van essentieel belang. Stremsel en melkzuurbacteriën concentreren en conserveren het melkeiwit caseïne en het melkvet. Ook bij de rijping van de kaas verzorgen het stremselfzym en de enzymen van de melkzuurbacteriën de gewenste omzettingen. De kennis hiervan heeft een vrijwel perfecte procesbeheersing mogelijk gemaakt. De verscheidenheid aan kaassoorten is het gevolg van de toegepaste technologie en verschillen in samenstelling van de zuursels. Door gebruik te maken van verschillende typen melkzuurbacteriën en andere micro-organismen in of op het oppervlak van kaas, wordt de variatie verder vergroot.

Grote hoeveelheden kazen drijven in het pekelbad van een moderne kaasfabriek.

Door de eeuwen heen heeft zich in verschillende landen een grote verscheidenheid aan kaassoorten ontwikkeld. Het bereiden van kaas is een oude en wijdverbreide methode om melk te verduurzamen. In bepaalde gevallen kan kaas zeer lang houdbaar zijn. Sommige soorten kaas worden pas na een rijpingstijd van meer dan één jaar geconsumeerd. Kaas is een algemeen volksvoedsel geworden. In Nederland wordt van de 12,7 miljard kg melk circa 42% tot kaas verwerkt; in België van de 3,8 miljard kg circa 20%. Elke 10 kg melk levert ongeveer één kg kaas op.

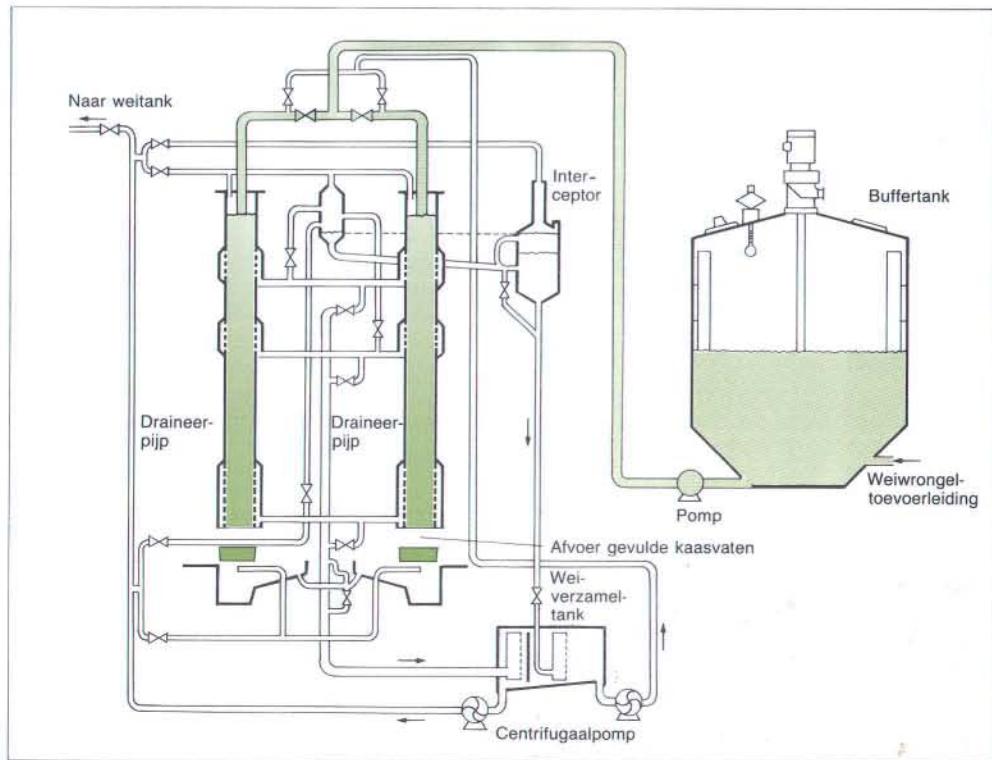
Oorspronkelijk werd kaas op de boerderij bereid, op de plaats dus waar ook het melkvee werd gehouden. Sinds het einde van de vorige eeuw is de kaasbereiding meer en meer een taak van gespecialiseerde bedrijven, waar kaas het enige product is. Wel kunnen daar verschillende soorten kaas worden bereid.

Tijdens het bereidingsproces wordt de kaasstof van de melk, veelal *caseïne* genaamd, neergeslagen. In principe kan dit op twee ma-

nieren gebeuren: door melkzuurbacteriën zo veel zuur te laten maken dat de caseïne uitvlokt, of door aan de melk stremsel, een extract van kalvermagen, toe te voegen. Stremsel bevat als actief element het leb-enzym, dat ook wel chymosine wordt genoemd. Nadat de melk is gestremd, is de verdere bereiding van kaas erop gericht de kaasstof te concentreren. De gestremde melk wordt daarvoor in *wrongel*, de kaasstof, en *wei*, de waterige rest van de gestremde melk, gescheiden. De wrongel levert de jonge kaas op. Het in de melk aanwezige vet en de aanwezige bacteriën worden bij de vorming van de wrongel ingesloten. De wei wordt afgetapt.

Bij de bereiding van kaas wordt gebruik gemaakt van bepaalde onschadelijke melkzuurbacteriën. De bacteriën worden in de vorm van een cultuur aan de te verwerken melk toegevoegd en in de wrongel opgenomen. Daar brengen ze de fermentatie op gang. In het Engels noemt men deze culturen *starters*, in het Nederlands spreekt men van *zuursels*. Melk-

1



zuurbacteriën creëren een anaeroob (zuurstofvrij) milieu en vormen melkzuur, azijnzuur en andere antimicrobiële stoffen. Verder zijn ze mede verantwoordelijk voor de geur en smaak van de kaas en beïnvloeden ze de structuur en de consistentie daarvan. In het intermezzo zal blijken dat voor sommige kaassoorten ook andere micro-organismen dan melkzuurbacteriën van betekenis zijn, zoals propionzuurbacteriën, corynebacteriën en bepaalde soorten schimmels.

### De bereiding van Goudse kaas

Het bereidingsproces van Goudse kaas is schematisch weergegeven in afbeelding 5. De voorname stappen van dit proces worden achtereenvolgens besproken.

#### *Voorbehandeling van de melk*

De op de boerderij geproduceerde rauwe volle melk wordt, na koelen en bewaren naar de kaasfabriek vervoerd en daar overgepompt in

grote tanks. Deze melk heeft een vetgehalte van circa 4%. Om het juiste vetgehalte in de droge stof van Goudse kaas (49,5%) te bereiken, moet de melk worden gestandaardiseerd. Eerst bepaalt men het eiwit- en het vetgehalte van de melk, en op grond van deze uitkomsten berekent men hoeveel ondermelk moet worden toegevoegd om kaasmelk van de juiste samenstelling te verkrijgen. Ondermelk wordt bereid door melk gedeeltelijk te ontromen. Een klein deel van de ondermelk wordt hoog gepasteuriseerd (15 min bij 95°C) en dient voor de bereiding van het bedrijfszuursel, dat de volgende dag nodig is. Daartoe wordt deze zuurselmelk afgekoeld tot 20°C en geënt met moederzuurselconcentraat, een suspensie van bacteriën die in de handel verkrijgbaar is.

#### *De wrongelbereiding*

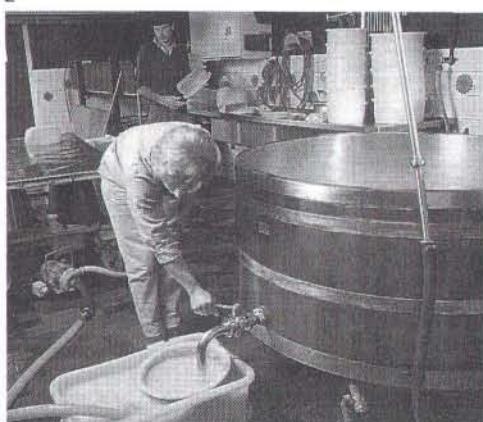
De gestandaardiseerde kaasmelk wordt laag gepasteuriseerd, (10 s bij 74°C). Nadat de melk tot 30°C is gekoeld, wordt ze in de wrongelbereider overgebracht. Dit is een open of gesloten tank met ingebouwde snij- en roerapparatuur (zie afb. 5). Het zuursel wordt nu toegevoegd evenals enkele andere stoffen, waaronder stremsel en calciumchloride.

Bij 30°C is de melk na ongeveer 25 minuten voldoende stevig gestremd om te worden gesneden. Dit geschiedt met een raamwerk van verticaal en evenwijdig aan elkaar gemonteerde messen. De gesneden massa scheert zich daarbij in wrongel(deeltjes) en wei. Een deel van de uitgetreden wei wordt verwijderd en onder sterk roeren wordt warm water toegevoegd. De temperatuur stijgt hierbij tot 35°C. Dit bevordert een verdere uittreding van wei. Door de hoeveelheid water te variëren kan men invloed uitoefenen op de hoeveelheid melksuiker (lactose) die met de wei in de wrongeldeeltjes achterblijft. Dit beïnvloedt, via de omzetting van melksuiker in melkzuur, de pH-waarde van de jonge kaas. Na enige tijd roeren heeft de wrongel een voldoende laag vochtgehalte. De wei kan nu afvloeien. Vanaf het moment waarop het stremsel werd toegevoegd is nu bijna anderhalf uur verstreken.

#### *Draineren en persen*

Vroeger had het bereiden van de wrongel en het draineren van de wei in één en dezelfde bak plaats. In moderne kaasfabrieken is daarvoor afzonderlijke apparatuur in gebruik. Aanvan-

2



1 en 2. Een Casomatic wrongeldrainermachine. Als de melk waaruit de kaas gemaakt wordt gestremd en bewerkt is, moet de wei afgetapt worden. Dat gebeurt tegenwoordig automatisch in dit soort installaties. In 2 zien we de oude methode, het wei-aftappen via de geperforeerde bodem.

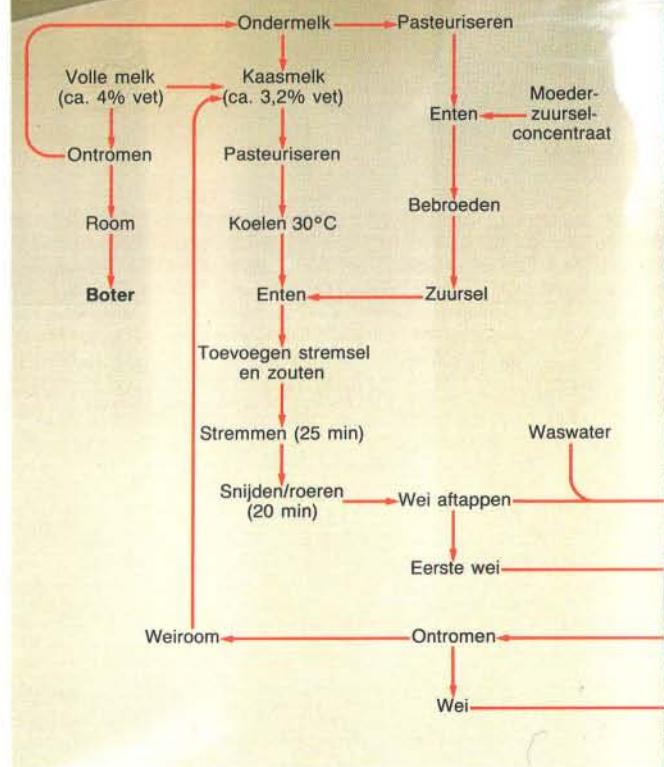
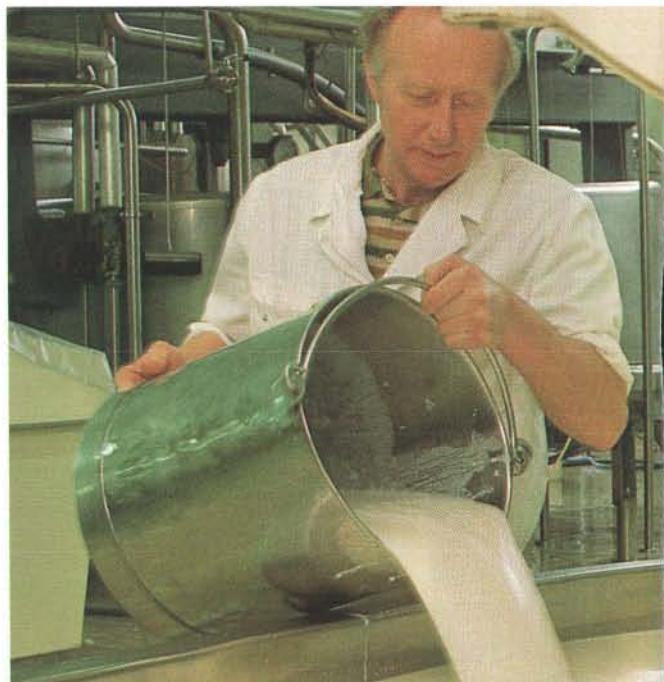
3 en 4. Er zijn nog steeds boeren die zelf ambachtelijk kaas maken. Op 3 is de boerin bezig de wrongel in een kaasvat over te brengen, waarna de kaas geperst wordt (4).

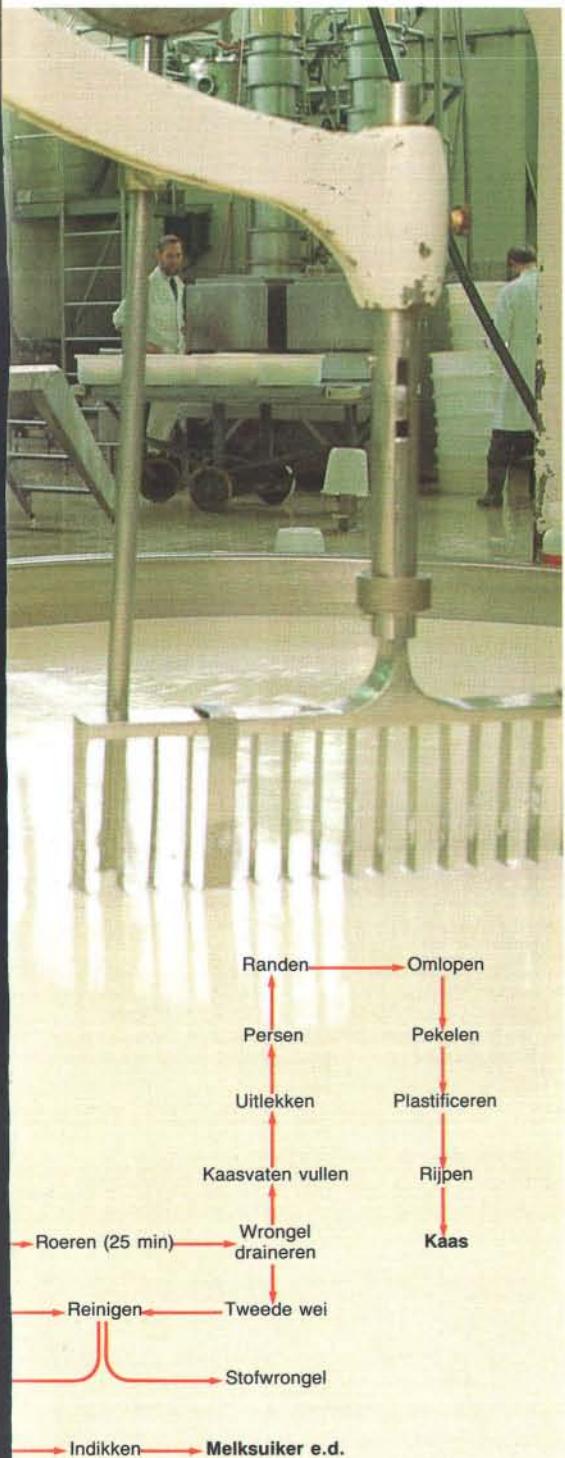
5. Schematisch overzicht van de bereiding van Goudse kaas. De kaasbereiding begint met het laten stremmen van het mengsel van melk, stremsel en zouten. Dat wordt vervolgens gesneden en geroerd met de parallelle messen die in de bak hangen. Meestal zijn deze wrongelbereiders gesloten.

3



4





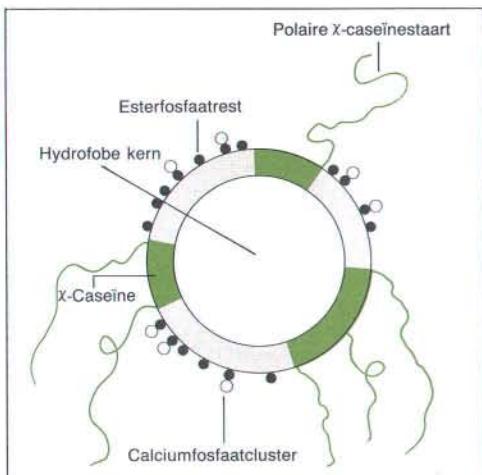
kelijk is voor het draineren veel gebruik gemaakt van draineerbakken met een geperforeerde beweegbare bodem. De gevormde wrangelkoek kon naar het vooreinde van de bak worden geschoven en aldaar in blokken worden verdeeld, waarna ze met de hand in kaasvaten werden overgebracht. Thans wordt meer en meer gebruik gemaakt van wrangeldoosmachines met dubbelwandige draineerkolommen zoals de Casomatic (zie afb. 1). De wei/wrangelmassa wordt in porties overgepompt in een buffertank, van waaruit de draineerkolommen voortdurend worden bijgevuld met wei/wrangel. De wei vloeit af door de geperforeerde binnenwand. De gevormde wrangelkolom wordt onderaan afgesneden en de cilindrische wrangelblokken vallen in de gereedstaande kaasvaten.

Nadat de gevulde kaasvaten met deksels zijn afgedekt wordt de kaas geperst. De kazen verliezen daarbij nog wat wei en krijgen een gesloten korst. Tijdens het persen en de daarop volgende fase, het *omlopen*, vindt het belangrijkste deel van de verzuring van de jonge kaas plaats. Als de kaas één à twee uur is geperst wordt hij uit de vaten genomen, omgekeerd, opnieuw in de vaten gelegd en zo nog één tot anderhalf uur bewaard (*omlopen*).

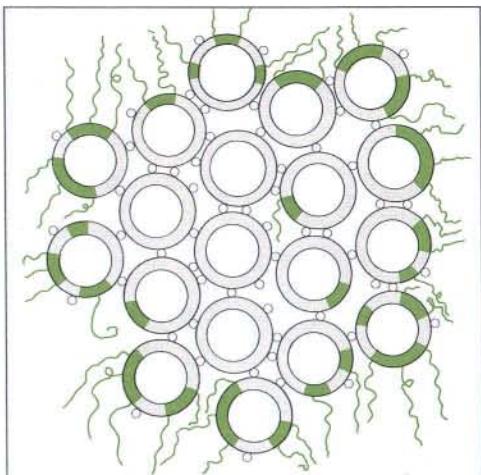
#### Pekelen en rijpen

Vervolgens wordt de kaas gepekeld. Goudse kaas van 12 kg verblijft circa vier dagen in een zoutoplossing die ongeveer 17% NaCl bevat. Na het pekelen wordt de kaas te drogen gelegd en voor de eerste maal geplastificeerd. De plastic wordt in een dunne laag op de kaas aangebracht. Nadat deze laag is gedroogd kan ze de korst van de kaas beschermen tegen bijvoorbeeld schimmelgroei. De plasticlaag bevat uitsluitend stoffen die niet in de kaas kunnen dringen.

Na het aanbrengen van de eerste laag begint de rijping van de kaas. De gewenste rijpingstemperatuur is 12-15°C. Over de omzettingen die daarbij plaatsvinden zal hierna het een en ander worden verteld. Tijdens het rijpen moet de kaas goed worden onderhouden. De kaas mag niet te veel uitdrogen en de bewaring dient onder strikt hygiënische omstandigheden plaats te vinden. Veelal wordt het plastificeren enige malen herhaald. Voor het transport en het keren van de kaas is een moderne kaasfabriek goed uitgerust.



6



### Het stremproces

Bij het stremproces van melk met kalverstremsel komt de caseïne onder invloed van chymosine, het voornaamste in dit stremsel aanwezige enzym, tot uityvlukking. In één liter melk komt ongeveer 25 g caseïne voor. Caseïne is op zichzelf geen enkelvoudige stof, maar bevat een viertal hoofdcomponenten:  $\alpha_{S1-}$ ,  $\alpha_{S2-}$ ,  $\beta-$  en  $\kappa$ -caseïne, die respectievelijk 36, 12, 36 en 12 % van de totale hoeveelheid caseïne uitmaken. Deze componenten associëren en vormen complexen, de zogenaamde caseïne-submicellen. In de melk zijn deze weer gebundeld in *caseïnemicellen*. De submicellen zijn met elkaar verbonden door *clusters* van calciumfosfaat. Deze binden zich aan het in  $\alpha_{S1-}$ ,  $\alpha_{S2-}$  en  $\beta$ -caseïne voorkomende aminozuur fosfoserine.

$\kappa$ -Caseïne bevat bijna geen fosfoserine. Het is vooral aan de buitenkant van de micel gelegen en speelt een bijzondere rol bij de stabiliteit ervan.  $\kappa$ -Caseïne bevat een hydrofoob (waterafstotend) deel dat in de micel steekt. Haarvormige uitsteeksels van de micel bevatten naar alle waarschijnlijkheid het hydrofiele deel van  $\kappa$ -caseïne. Door dit hydrofiele deel stoten de micellen elkaar af en blijven ze in oplossing.

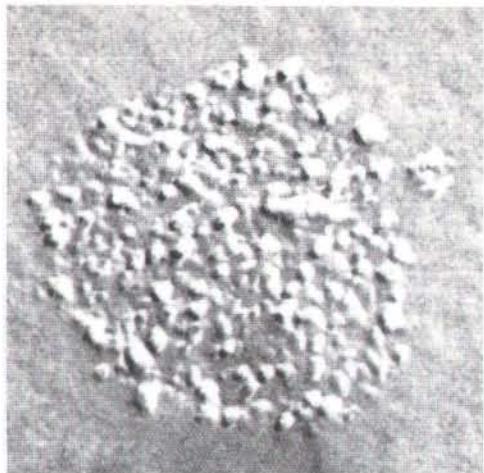
Het *caseïnemolekuul* bestaat uit 169 aminozuren. Bij de pH van melk ( $\sim 6,6$ ) splitst chymosine in de eerste plaats de binding tussen de aminozuren fenylalanine en methionine op de plaats 105-106. Hierbij komen de hydro-

fiele uitsteeksels, ook wel *caseïnemacopeptiden* genoemd, vrij. De micellen worden ‘onthaard’. Ze stoten elkaar daardoor minder af. Men noemt dit de primaire reactie.

Bij de volgende reactie, ook wel *vlokreactie* genoemd, hechten de ‘ontharde’ caseïnemicellen aan elkaar, mede onder invloed van calciumionen, en vormt zich een driedimensionaal netwerk. Dit netwerk wordt *paracaseïne* genoemd. De melk is nu gestremd. Terwijl het grootste gedeelte van het melkvocht, de wei, onder invloed van het snijden, roeren en verzuren uittreedt, ontstaat de wrongel. In colloidchemische termen kan men stellen dat de stabiele caseïnemicellen in de melk door de stremselreactie aggregeren en een gel vormen. Tijdens de bewerking gaat de aggregatie verder en treedt nog meer wei uit. Dit laatste proces noemt men *synerese* (afb. 8).

Afhankelijk van de pH van de wrongel op het moment van draineren wordt bij het uitvlokken meer of minder stremsel ingesloten. Hoe lager de pH, des te meer stremsel wordt ingesloten. Tijdens de rijping van de kaas blijft het ingesloten stremsel actief, het splitst de caseïnebestanddelen van de kaas langzaam en aspecifiek. Deze peptiden vormen op zichzelf weer een goed substraat voor de peptidesplitsende enzymen van de melkzuurbacteriën. Chymosine is dus ook van belang voor de rijping van de kaas.

Behalve kalfschymosine wordt ook runderpepsine als stremsel gebruikt. Er kunnen goede

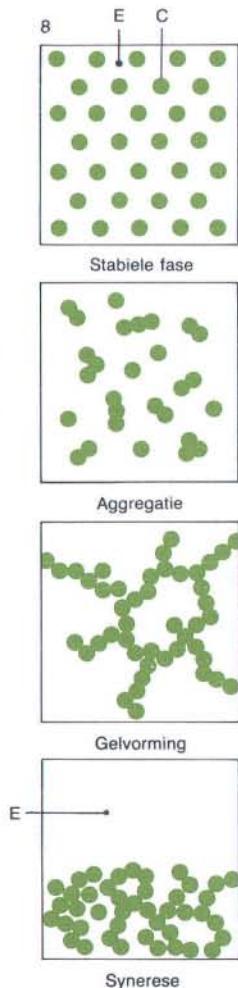


7

6. Een submicel (links) en een micel (rechts) van caseïne.  $\alpha$ -Caseïne zorgt voor de stabilisering van de micellen. Enzymen uit stremsel kunnen de polaire staarten (haren) 'afknippen'; waardoor de submicel destabiliseert en het caseïne-eiwit klontert. Dit gebeurt tijdens het stremproces.

7. Elektronenmicroscopische opname van een caseïnemichel. De doorsnede ervan varieert van 20 tot 60 nm.  $\alpha$ -Caseïne zorgt voor de stabilisering van micellen.

8. Van melk tot wrongel: een overzicht van de belangrijkste processen die zich tijdens de stremming van melk en de bereiding van wrongel voltrekken (C = caseïnemichel; E = enzym.)



resultaten mee worden behaald. Dit is in mindere mate het geval met sommige stremsels van microbiële oorsprong. Stremsels afkomstig van bepaalde *Mucor*-soorten leveren echter acceptabele resultaten op, al is de oudere kaas die ermee is bereid wel iets minder goed van smaak en consistentie dan kaas die met chymosine is bereid. Chymosine dat bereid wordt met behulp van recombinant-DNA-technieken is nog niet commercieel beschikbaar. Te verwachten is dat dit binnen afzienbare tijd wel het geval zal zijn.

#### De activiteiten van de zuurselbacteriën

Aan de melk in de wrongelbereider is naast het stremsel ook zuursel toegevoegd. Dit zuursel bevat verschillende bacteriën die via diverse reacties het stremproces bevorderen. Bovendien hebben ze een aanwijsbare invloed op de smaak en de kwaliteit van de kaas.

De bacteriën in de zuurselcultuur vallen uiteen in twee typen: de zuurvormers en de gasvormers. De laatste vormen 10-20% van het totale zuursel en zetten citroenzuur uit de melk om in onder andere koolzuurgas en azijnzuur. De meest gebruikte gasvormers zijn *Leuconostoc cremoris*, *L. lactis* en *Streptococcus diacetylactis*. De zuurvormers, waarvan *S. cremoris* en *S. lactis* de belangrijkste zijn, breken de melksuikers af tot melkzuur (glycolyse).

Het door de gasvormers uit citroenzuur gevormde koolstofdioxide zorgt voor de ogenvorming in de kaas. De mate waarin dat gebeurt, hangt af van de aard van het zuursel. Zuursels die *S. diacetylactis* bevatten, produceren het koolzuurgas sneller en in grotere hoeveelheden. Deze zuursels veroorzaken daardoor een sterkere ogenvorming. *Leuconostoc*-bacteriën zetten weliswaar lactose om in melkzuur, azijnzuur en CO<sub>2</sub>, maar de daarbij gevormde hoeveelheid koolstofdioxide is gering.

Het gevormde anaërobe milieu, het geproduceerde melkzuur en azijnzuur, en het soms in een geringe hoeveelheid gevormde waterstofperoxyde dragen bij tot de conservering van de kaas. Zij creëren een omgeving waarin ongewenste micro-organismen niet kunnen gedijen.

Een andere belangrijke reactie die de melkzuurstreptocellen teweegbrengen is de proteolyse (eiwitsplitsing). Deze is van belang om de groei van deze organismen in stand te houden.

In melk zijn daarvoor onvoldoende vrije aminozuren aanwezig. De zogenaamde *prt<sup>+</sup>*-stammen van het zuursel bezitten in hun celwand één of meer proteasen. Hierdoor zijn ze in staat de caseïne in melk af te breken tot grote peptiden die deels in de melk worden afgescheiden, deels door de cel worden opgenomen. Ze kunnen ook opgenomen worden door de *prt<sup>-</sup>*-stammen, die geen protease(n) in de celwand bezitten. Deze *prt<sup>-</sup>*-stammen zijn door plasmideverlies uit de *prt<sup>+</sup>*-stammen ontstaan. Plasmiden komen als kleine stukjes cirkelvormig DNA naast het chromosomale DNA in de cel voor; ze kunnen gemakkelijk verloren gaan. Het proteasegen is op een plasmide gelegen. *Prt<sup>-</sup>*-stammen kunnen naast *prt<sup>+</sup>*-stammen groeien in melk maar alleen groeien ze slechts langzaam.

Beide soorten stammen beschikken over verscheidene peptidasen die gelegen zijn aan de membraan of in het cytoplasma, waarmee uiteindelijk de grote peptiden worden afgebroken tot de benodigde aminozuren. Behalve voor de groei is het proteolytisch systeem van melkzuurstreptocellen van belang voor de kaasrijping. De gevormde aminozuren of afbraakprodukten daarvan hebben grote betekenis voor de geur en smaak van de kaas. Hoe ouder de kaas, des te meer van deze stoffen zijn gevormd.

## De beheersing

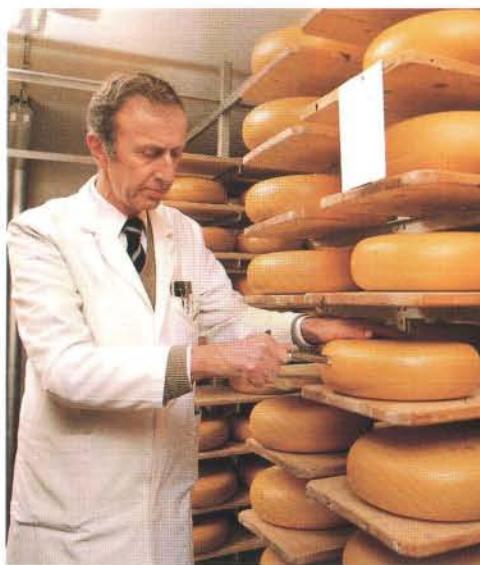
Bij de moderne kaasbereiding is de beheersing van het proces van groot belang voor de samenstelling en de kwaliteit van de kaas. De activiteiten van de zuurselbacteriën dienen daarbij goed gecontroleerd te worden.

De mate van zuurvorming tijdens de kaasbereiding heeft een grote invloed op de synthese van de wrongel en derhalve op het vochtgehalte van de kaas. Bovendien bevordert de constante samenstelling en activiteit van het zuursel ook de constante kwaliteit van de kaas.

Er zijn vele factoren die de activiteit van de zuurselbacteriën beïnvloeden en een van de allerbelangrijkste zijn bacteriofagen. Bacteriofagen zijn micro-organismen die zich ten koste van bacteriën kunnen vermengvuldigen. Deze vermengvuldiging van fagen ten koste van zuurselbacteriën kan zo snel om zich heen grijpen dat deze organismen de bereiding van het bedrijfszuursel en van de kaas ernstig kunnen verstoren. Dank zij een aantal maatregelen kan de invloed van storende bacteriofagen sterk worden gereducteerd.

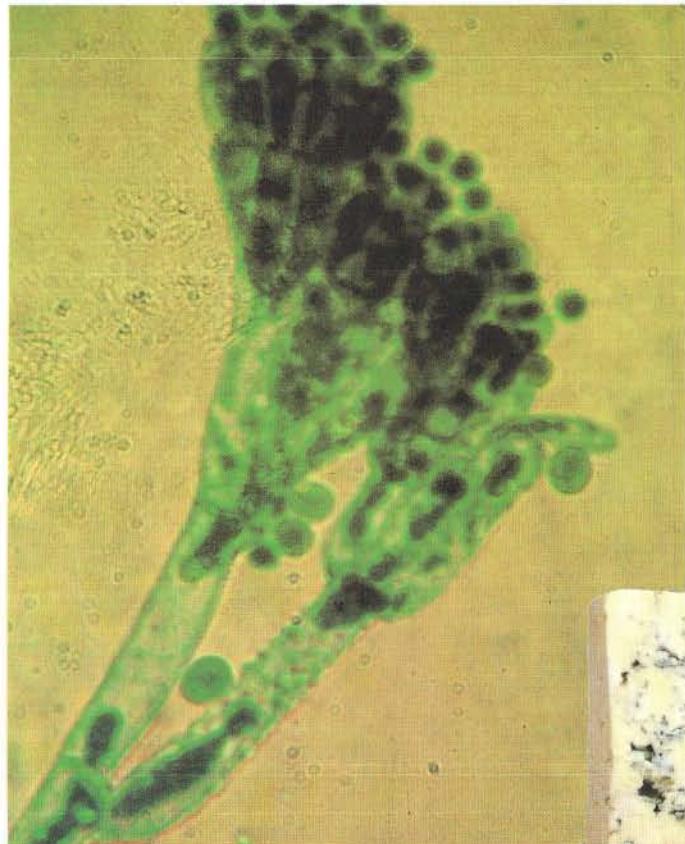
Allereerst is in dit verband van belang het gebruik van bepaalde mengculturen (P-zuursels), die een duidelijke resistentie tegen fagen bezitten. Dit komt omdat 10 tot 20 %

9



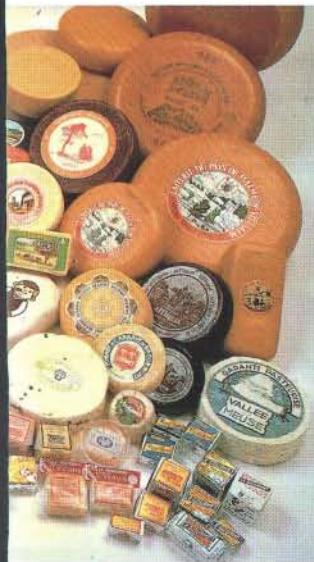
10





11

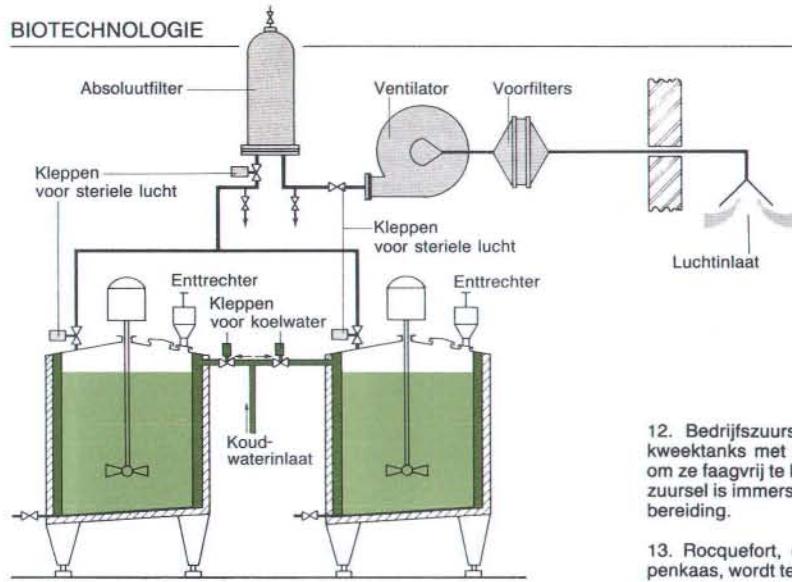
11. De schimmel *Penicillium roqueforti* wordt in sommige kaassoorten in de vorm van sporen ingesloten. Het resultaat is een pittige blauwgeaderde kaas.



9. Kaas moet lange tijd rijpen, voordat hij aan de consument kan worden aangeboden. Kaasfabrieken hebben dan ook altijd enorme pakhuizen vol rijpende kazen. Ook het rijpingsproces is onderwerp van onderzoek. Daartoe worden regelmatig monsters van rijpende kazen genomen.

10. Iedere streek in ieder land heeft zowat zijn eigen kaas. Hier een overzicht van het assortiment Belgische kazen.

van de bacteriestammen in deze culturen niet of nauwelijks gevoelig is voor bacteriوفagen, zodat het zuursel zich na een faagaanval snel kan herstellen. Bovendien zijn de faaggevoelige stammen in de mengculturen gevoelig voor verschillende fagen. Om deze stammen helemaal uit te schakelen moet besmetting met een groot aantal verschillende fagen plaatsvinden. Dit zal in de praktijk nooit of vrijwel nooit gebeuren. Voor het behoud van deze gunstige eigenschappen is het wel nodig dat deze culturen zo weinig mogelijk in het laboratorium worden overgeënt. Daardoor zou de snelstgroeiende stam in het mengsel de overhand krijgen.



12

12. Bedrijfszuursels worden gemaakt in kweettanks met bijzondere voorzieningen om ze faagvrij te kweken. Een geïnfecteerd zuursel is immers ongeschikt voor de kaasbereiding.

13. Rocquefort, een pittige Franse schapenkaas, wordt te rijpen gelegd in een grot.

## Kaassoorten

Het is niet mogelijk om binnen het bestek van dit artikel aan te geven op welke wijze de talrijke in de wereld bekende kaassoorten worden gemaakt. In het onderstaande is dan ook volstaan met het weergeven van enige hoofdpunten.

Allereerst is het van belang bij welk vochtgehalte van de vettvrije droge stof de kaas wordt afgewerkt. Uit de tabel, die een overzicht geeft van enige kaassoorten, blijkt dat deze indeling leidt tot rubrieken als zacht, halfzacht, hard en zeer hard. De vochtgehalten in de vettvrije droge stof van deze kazen zijn bij benadering: > 67 %, 61-69 %, 49-63 % en < 51 %. Hierbij is het ook van belang hoe ver de verzuring op het moment van drainage van de wrongel is voortgeschreden. Is op dat moment de pH reeds laag, dan zal veel calciumfosfaat uit de caseinmicellen in de wei zijn overgegaan en zal de kaas relatief minder calcium en fosfaat bevatten. In zulke gevallen kan door het verlies van deze bufferende stoffen gemakkelijk een lage (tot zeer lage) pH in de jonge kaas ontstaan. Voor de eigenschappen van de jonge kaas is het calciumgehalte dus een belangrijke parameter.

Bij vele kaassoorten kan het vetgehalte in de droge stof van de kaas op verschillende niveaus worden ingesteld. Men spreekt van roomkaas, volvette of magere kaas (% vet in de droge stof respectievelijk bij benadering: > 60 %, 45-60 %, 25-45 % en < 25 %). Bij sommige kaassoorten

TABEL Kaassoorten en de micro-organismen die bij hun bereiding van belang zijn

Rubriek	Soort	Micro-organismen*
Zacht, niet gerijpt	Kwark, cottage cheese Frischkäse, Neufchâtel	1 2 3 4
Zacht, gerijpt	Brie Camembert Kernhem, Limburger	1 2 (3 4) 8 9 1 2 (3 4) 8 9 10 1 2 (3 4) 10
Halfhard, gerijpt	Goudse, Edammer Monterey Asiago Brick, Münster Roquefort, Stilton, Gorgonzola	1 2 3 4 1 2 1 2 5 6 1 2 10 1 2 11 12
Hard, gerijpt	Cheddar, Colby Emmentaler, Gruyère	1 2, soms 13 5 6 7 14 15
Zeer hard, gerijpt	Parmezaanse Romano	1 2 5 6 5 6
Pasta filata	Mozzarella Provolone	2 5 6 6

- \*  
 1: *Streptococcus cremoris*      8: *Penicillium camemberti*  
 2: *S. lactis*                        9: *P. candidum*  
 3: *S. diacetylactis*                10: *Coryne-bacteriën*  
 4: *Leuconostoc cremoris/ L.lactis*      11: *Leuconostoc sp.*  
 5: *S. thermophilus*                12: *P. roqueforti*  
 6: *Lactobacillus bulgaricus*      13: *S. durans*  
 7: *L. helveticus*                  14: *Propionibacterium shermanii*  
 15: *P. freudenreichii*



13

laat men de wrongel in de kaasbak verzuren en onderwerpt men deze daarna aan een verhitting in heet water. Deze soorten kaas (pastafilata) bezitten goede smelteigenschappen. Zeer belangrijk is dus de wijze waarop de kaas wordt bereid, maar ook waarop de bewaring en rijping plaats hebben.

De functionele micro-organismen die zich in het inwendige of op het oppervlak van de kaas ontwikkelen zijn daarbij medebepalend voor het tot stand komen van de soort kaas. In het inwendige van kaas kunnen zich mesofiele of thermofiele melkzuurbacteriën ontwikkelen. Bij bepaalde kaassoorten zijn propionzuurbacteriën in het inwendige van de kaas ingesloten en moet bij een hogere rijpingstemperatuur een propionzuurgisting plaatsvinden.

Bij weer andere kaassoorten worden schimmelsporen van de soort *Penicillium roqueforti* ingesloten die zich in de kaas ontwikkelen. Een speciale doorboring met naalden zorgt voor de toetreding van de benodigde lucht voor dit aërobe micro-organisme. Ook de micro-organismen die zich op het oppervlak van de kaas bevinden kunnen bij bepaalde soorten van groot belang zijn om de karakteristieke eigenschappen te doen ontstaan. Er kan zich een 'Schmier' van *corynebacteriën* ontwikkelen. Op andere kaassoorten komen witte schimmels tot ontwikkeling van de soorten *Penicillium camemberti* en *P. candidum*.

Zuurselbacteriën kunnen in bevroren toestand bij temperaturen van  $-40^{\circ}\text{C}$  of lager goed worden bewaard. Dank zij de introductie van bevroren concentraten (verdichte suspensies) van zuurselbacteriën is elke dag een materiaal van constante kwaliteit en samenstelling beschikbaar voor de bereiding van het bedrijfszuursel (afb. 12).

Diverse maatregelen zijn nodig om faag-groei in de kaasbereidingsapparatuur te voorkomen. Een adequate constructie, alsmede tussentijdse reiniging van 'kwetsbare' onderdelen kan ophoping van fagen grotendeels voorkomen. Met de introductie van de zojuist beschreven maatregelen slagen de moderne grootschalige kaasfabrieken erin langdurig achtereen en, dag in dag uit, volledig beheerst kaas te maken met éénzelfde zuursel.

#### Literatuur

- Lolkema H, Blaauw J. Kaasbereiding. Apeldoorn: Landelijke Stichting Beroepsopleiding Levensmiddelenindustrie, 1974.
- Schmidt DG. Associatie van caseïnes en de structuur van caseïnemicellen. NIZO-mededeeling M18 Ede: NIZO, 1983.
- Eck A. Fromage. Paris: Diffusion Lavoisier, 1984.
- Chemisch Magazine. NIZO-special, 5 december 1985. Stam Tijdschriften BV, Rijswijk.
- NIZO-special Biotechnologie in Nederland. 1986, 3; 6.
- Stam Tijdschriften BV, Rijswijk.

#### Bronvermelding illustraties

- Ministerie van Landbouw en Visserij, 's-Gravenhage: pag. 892-893.
- George Burggraaf, Buurmazlen: 2, 3, 4.
- DMV-Campina, Rijkevoort: 8.
- NIZO, Ede: 5, 7, 9, 10.
- Sopexa, 's-Gravenhage: 13.



Deze artist impression laat een aantal wat grotere planetoiden zien in hun grootte-verhouding tot Mars. De grootste is Ceres met een straal van 380 km. Daarboven is de op één na grootste getekend: Pallas, met een straal van 240 km. Links onder Ceres zien we Vesta, die ook een straal van 240 km heeft. De kleinste bekende planetoiden zijn kleiner dan één kilometer. De afstanden van deze planetoiden tot Mars zijn sterk verkleind weergegeven; in werkelijkheid neemt de planetoidengordel een groot deel van het gebied tussen de banen van Mars en Jupiter in beslag.

# PLANETOÏDEN

## PUIN IN HET ZONNESTELSEL

Planetoïden zijn in een baan om de zon draaiende kleine planeten met een diameter van slechts enkele kilometers. Ze zijn lange tijd door astronomen verwaarloosd. Wellicht echter vormen zij de sleutel tot de geschiedenis van het zonnestelsel. Bestudering van hun banen stelde onderzoekers voor problemen, die zonder zeer geavanceerde analysetechnieken onopgelost zouden zijn gebleven. Heden ten dage is het planetoïdenonderzoek een wetenschap in volle ontwikkeling, die in de komende jaren tot een beter begrip van het zonnestelsel zal moeten leiden.

Christiane Froeschlé  
Claude Froeschlé  
Sterrenwacht  
Nice

**EURO**  
ARTIKEL

Het zonnestelsel wemelt van de planetoïden. Toch is er maar weinig over bekend. Door hun kleine afmetingen en hun grote afstand tot de aarde zijn ze nauwelijks waar te nemen. Zij wisten de astronomen dan ook nauwelijks te boeien. Hierin begint echter verandering te komen. Astronomen zijn namelijk tot het besef gekomen dat deze objecten nadere studie verdienen, enerzijds omdat verdwaalde planetoïden in de dampkring van de aarde terecht kunnen komen, en daar meteorietenregens kunnen veroorzaken, anderzijds omdat grotere exemplaren ( $> 1 \text{ km}$ ) waarschijnlijk de grote inslagkraters op aarde, de maan en op Venus en Mercurius hebben veroorzaakt. Volgens sommigen was zo'n reuze-inslag verantwoordelijk voor het plotseling uitsterven van de dinosauren.

Planetoïden zijn echter ook om een andere reden interessant. Zij zijn namelijk tegelijk met de planeten ontstaan en hebben daarna een andere ontwikkeling doorgemaakt. Waarschijnlijk zijn het restanten van de oermaterie van het zonnestelsel, overgebleven brokstukken van de ontelbare kleine objecten waaruit de planeten zijn ontstaan. Daardoor zijn ze voor de astronomen van essentieel belang.

### Hemelpuin

Planetoïden zijn kleine rotsachtige lichamen met zeer uiteenlopende afmetingen, die net als de planeten een elliptische baan om de zon beschrijven. Vroeger werden het asteroïden genoemd, wat 'lijkend op een ster' betekent. Het zijn echter kleine planeten, wier banen hoofdzakelijk worden bepaald door de aantrekkingskracht van de zon. Hun banen liggen vrijwel in hetzelfde vlak als die van de planeten (zie afb. 1). De meeste planetoïden bevinden zich tussen de banen van Mars en Jupiter; dit gebied noemt men de *planetoïdengordel*.

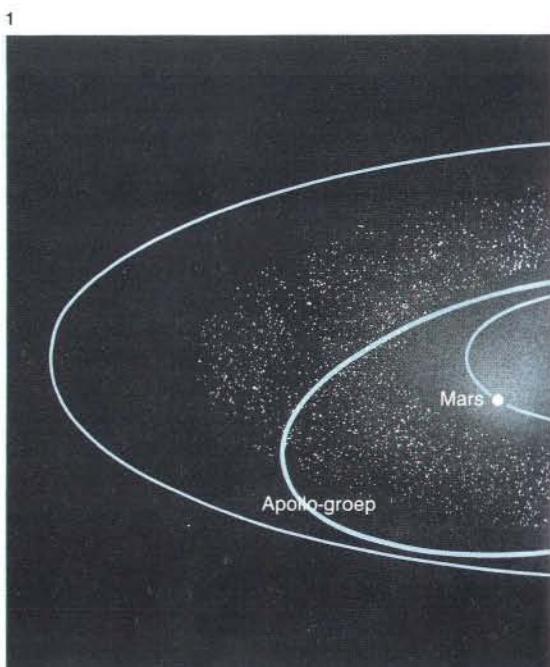
Omdat ze moeilijk waarneembaar zijn, is men er pas in de laatste 20 jaar met nieuwe waarnemingstechnieken in geslaagd informatie te verzamelen over hun omvang, vorm, kleur en chemische en mineralogische samenstelling.

Van zo'n 200 planetoïden is de diameter bepaald, voornamelijk indirect door de tijd te meten waarin sterren door planetoïden worden verduisterd. Ceres, de grootste, heeft een diameter van 1025 km, nog niet een derde van die

TABEL. Enige representatieve planetoïden

Naam	Straal (km)	Massa (kg)	Omloopijd (jaar)	Halve lange as
Ceres	380	$1,17 \cdot 10^{21}$	4,60	2,766
Pallas	240	$2,6 \cdot 10^{20}$	4,61	2,768
Juno	100	$2,0 \cdot 10^{19}$	4,36	2,668
Vesta	240	$2,4 \cdot 10^{20}$	3,36	2,362
Hebe	110	$2,0 \cdot 10^{19}$	3,78	2,426
Iris	100	$1,5 \cdot 10^{19}$	3,68	2,386
Hygiea	160	$6,0 \cdot 10^{19}$	5,59	3,151
Eunomia	140	$4,0 \cdot 10^{19}$	4,30	2,643
Psyche	140	$4,0 \cdot 10^{19}$	5,00	2,923
Nemausa	40	$9,0 \cdot 10^{17}$	3,64	2,366
Eros	7	$5,0 \cdot 10^{15}$	1,76	1,458
Davida	130	$3,0 \cdot 10^{19}$	5,67	3,190
Icarus	0,7	$5,0 \cdot 10^{12}$	1,12	1,078
Apollo	0,5	$2,0 \cdot 10^{12}$	1,81	1,486
Adonis	0,15	$5,0 \cdot 10^{10}$	2,76	1,969
Hermes	0,3	$4,0 \cdot 10^{11}$	1,46	1,290

1. Evenals de planeten beschrijven de planetoïden een ellipsvormige baan om de zon onder invloed van haar aantrekkracht. De meeste komen voor tussen de banen van Mars en Jupiter. De Trojanen, planetoïden genoemd naar helden uit de Trojaanse oorlog, hebben dezelfde baan als Jupiter. Sommige planetoïden, zoals de Apollo-groep, beschrijven afwijkende banen, die hen soms in de buurt brengen van Mars en zelfs dicht bij de aarde.



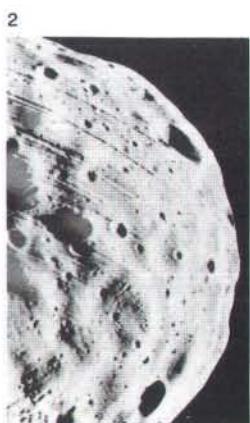
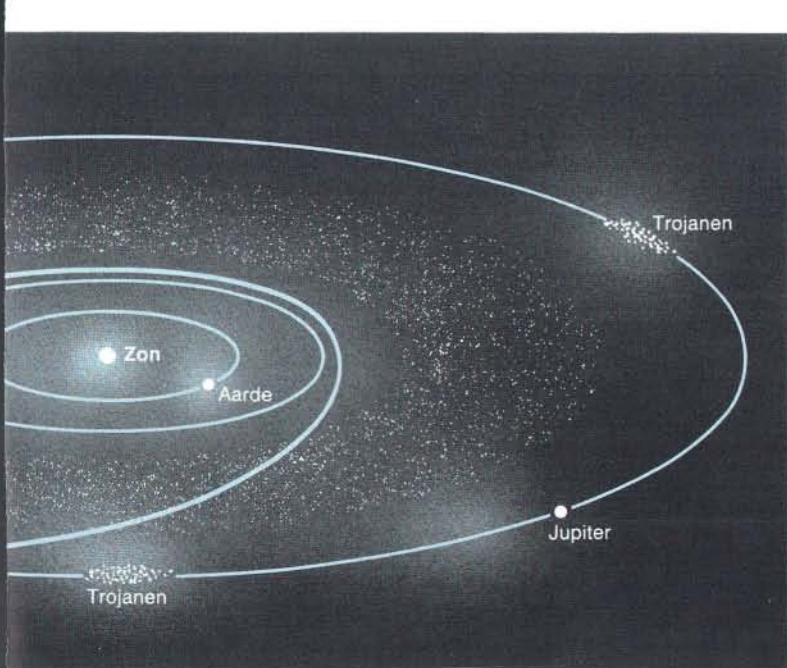
van de maan. Slechts 30 planetoïden hebben een diameter van meer dan 200 km, zodat het in het algemeen zeer kleine objecten zijn.

De massa's van de diverse planetoïden zijn veel minder goed bekend. De massa wordt bepaald door de afwijking van de baan van een hemellichaam te bepalen, die bij dichte nadering van een ander lichaam door de zwaartekracht wordt veroorzaakt. Voorwaarde is wel dat de massa's van beide passanten in dezelfde orde van grootte liggen. Zo heeft men de massa van de planetoïde Vesta geschat op  $1,3 \times 10^{-10}$  zonnemassa's (1 zonnemassa =  $1,989 \times 10^{33}$  g). Men hoeft niet altijd uit te gaan van een dichte nadering. Wanneer twee planetoïden nagenoeg dezelfde omloopijd hebben, zijn ze veel langer in elkaars nabijheid en doet de wisselwerking van hun zwaartekrachten zich langer voelen. Op deze manier zijn de massa's van Ceres en Pallas bepaald op  $5,9 \times 10^{-10}$ , respectievelijk  $1,8 \times 10^{-10}$  zonnemassa's. Schattingen van de totale massa aan planetoïden komen uit op ongeveer  $1,9 \times 10^{-9}$  zonnemassa's; dat is 1/1600 van de massa van de aarde.

Informatie over de oppervlaktestructuur van planetoïden is verkregen door de helder-

heid van het teruggekaatste zonlicht te bestuderen. Bij de meeste planetoïden worden helderheidsvariaties (lichtkrommen) waargenomen, wat er op duidt dat het roterende lichamen zijn. De rotatie-assen lijken willekeurig in de ruimte gericht te zijn. De rotatietijd is in het algemeen enkele uren, maar er zijn ook planetoïden die enkele jaren over een asomwenteling doen. Bovendien kan men er uit afleiden dat planetoïden een onregelmatige vorm hebben.

Het door de planetoïden teruggekaatste licht bevat ook informatie over hun chemische samenstelling. De spectraanalyse – dat wil zeggen de analyse van de golflengteverdeling van het weerkaatste zichtbare en infrarode licht – laat namelijk absorptielijnen of -banden zien, die karakteristiek zijn voor bepaalde elementen. Op grond hiervan deelt men de planetoïden in in groepen. De C-groep, waarbij koolstof overheerst, omvat driekwart van de planetoïden. Daarnaast is er een S-groep die overwegend silicaten bevat en een M-groep van planetoïden die voornamelijk uit metalen, vooral ijzer en zink, bestaan. Naarmate er meer waarnemingen worden gedaan, worden er meer groepen gevonden, wat duidt



2. Phobos, één van de maanen van Mars, is weliswaar geen planetoïde, maar vertoont op grond van haar grootte en vorm veel overeenkomsten met planetoïden.

op een grote verscheidenheid. Opvallend en vooralsnog onverklaarbaar is dat planetoïden uit de C-groep hoofdzakelijk aan de buitenkant van de planetoïdengordel worden gevonden, terwijl die van de S-groep een duidelijke voorkeur hebben voor de binnenkant.

De chemische samenstelling van de planetoïden suggereert een grote gelijkenis met de meteorieten die de aarde treffen. Dat maakt het aannemelijk dat de meeste meteorieten uit de planetoïdengordel afkomstig zijn. Hetgeen weer de vraag oproept hoe de meteorieten uit de planetoïdengordel in de baan van de aarde terecht zijn gekomen. Voor een verklaring van hun baan is het nodig de dynamica van de planetoïden en hun verdeling in de gordel te bestuderen.

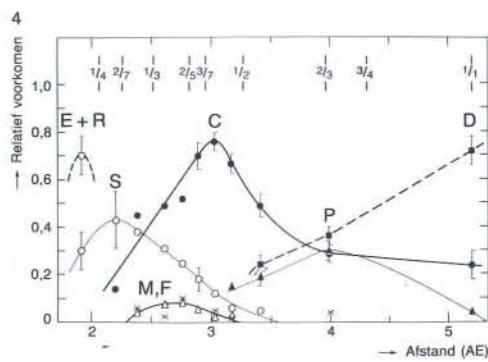
### Een gordel om de zon

De eerste planetoïde, Ceres, werd bij toeval op 1 januari 1801 door Piazza in Palermo ontdekt. Zij bleek een elliptische baan te beschrijven met een *halve lange as* – de gemiddelde afstand zon - Ceres – van circa 2,8 AE. AE staat voor *astronomische eenheid*; 1 AE is de afstand aarde-zon: 150 miljoen kilometer. Eerder was gebleken dat op die plaats in het zonnestelsel een planeet ‘ontbrak’. Al in 1772 was namelijk de wet van Titius-Bode opgesteld. Volgens deze wet volgen de afstanden van de verschillende planeten tot de zon een meetkundige reeks. Van Mercurius (0,4 AE van de zon) tot Pluto (77,2 AE) nemen de negen planeten nagenoeg de voorspelde posities in. Alleen de positie op 2,8 AE bleek ‘leeg’ te zijn. Vandaar dat de ontdekking van Ceres op die plaats de nodige aandacht trok.

Al vrij snel was echter duidelijk dat Ceres veel te klein is voor een planeet. In de loop van de vorige eeuw werden steeds meer planetoïden ontdekt. In 1890 namen Wolf in Heidelberg en Charlois in Nice met behulp van een telescoop er de eerste foto's van. De fotografi sche platen werden een uur lang belicht. De sterren worden dan als puntjes afgebeeld, terwijl de planetoïden, door hun beweging ten opzichte van de sterren als streeppjes afgebeeld worden. Dank zij intensief gebruik van de zogenaamde Schmidtijkers, waarmee grote delen van de hemel kunnen worden bekeken, is een zeer groot aantal planetoïden ontdekt, waarvan ook de baan is bepaald. Door op ver-



3



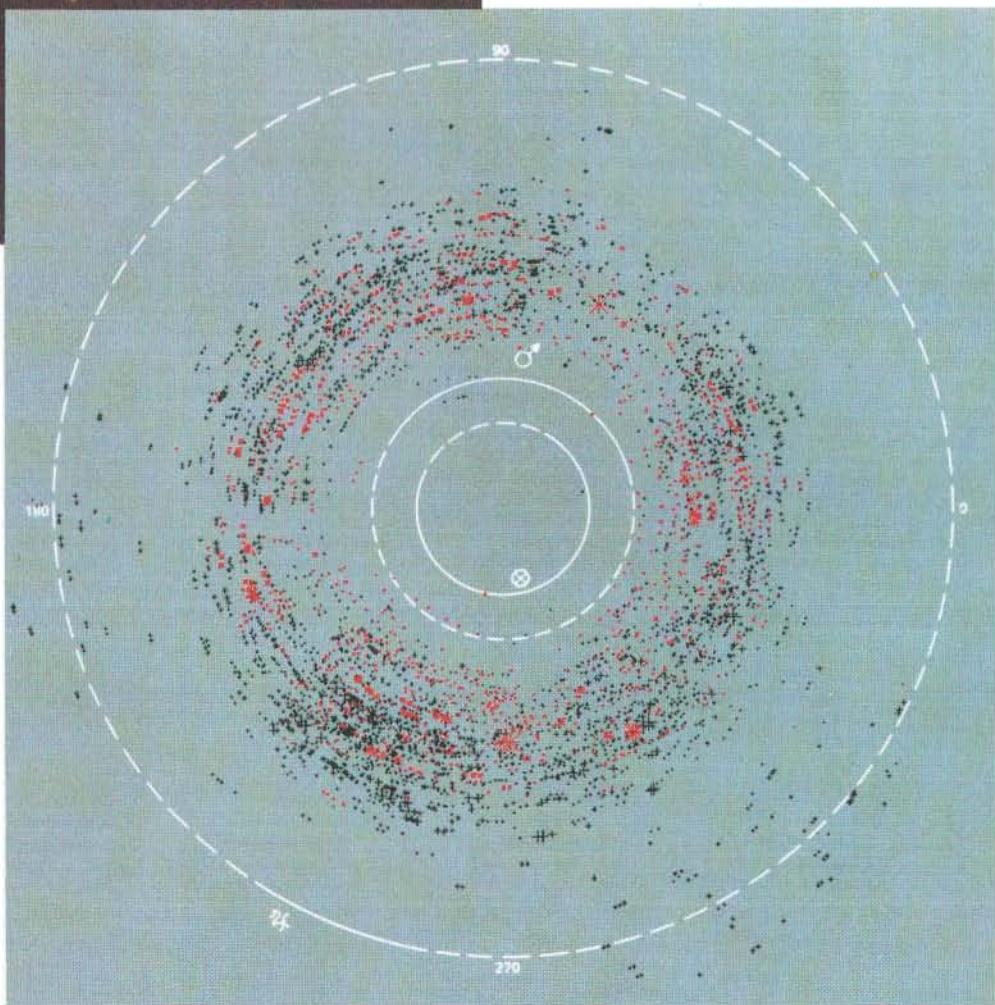
3. Planetoïden zijn van belang voor de astronomie omdat het vermoedelijk restanten zijn van het materiaal waaruit de planeten zijn ontstaan. Aanvankelijk zijn ze voortgekomen uit interstellaire gas- en stofwolken. Een voorbeeld daarvan is de Paardekopnevel in het sterrenbeeld Orion.

4. Door spectraalanalyse van het door planetoïden teruggekaatste licht is het mogelijk iets over hun chemische samenstelling te zeggen. In deze figuur is de fractie van het aantal planetoïden van één groep, uitgezet tegen de afstand tot de zon. Betrekken van een aantal afkortingen: C = koolstofhoudend, S = siliciumhoudend, M = metaalhoudend, E = estantiehoudend, R = rood.

schillende tijdstippen foto's te maken kan men de bewegingsrichting van een planetoïde bepalen. Met behulp van aan de mechanica ontleende methoden, kan vervolgens de baan bepaald worden.

5. De IRAS (Infrarood Astronomische Satelliet) heeft een groot aantal waarnemingen van planetoïden gedaan, op grond waarvan deze kaart is gemaakt. De concentrische cirkels zijn de banen van de aarde, Mars en Jupiter. De getrokken lijnen daarin laten zien welke banen deze planeten gedurende de waarnemingsperiode aflegden. De rode tekens staan voor planetoïden met een hoge visuele albedo (ze kaatsen veel licht terug); de zwarte zijn donker. Hoe groter het teken, des te sterker was het door IRAS opgevangen signaal.

5

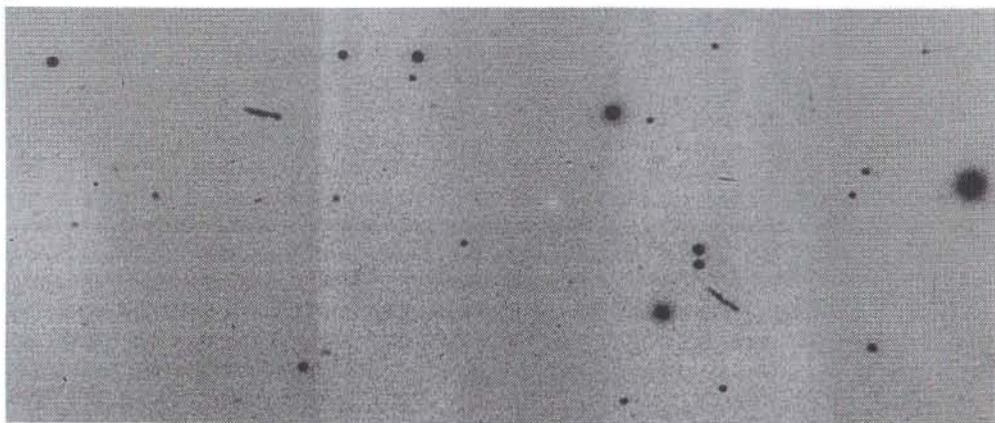


### Zijn planeten en planetoïden even oud?

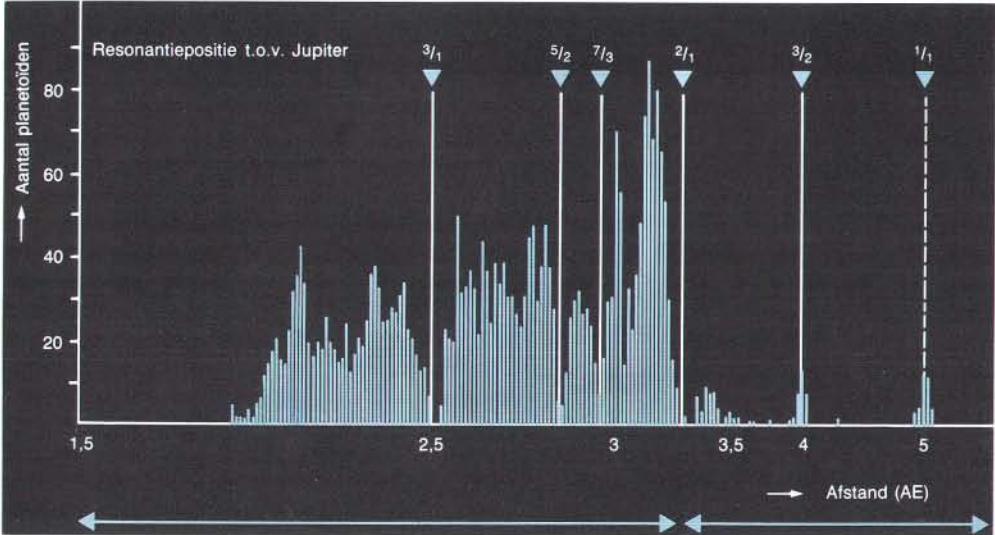
De oudste hypothese om het ontstaan van planetoïden te verklaren blonk uit door eenvoud: de planeet die 'weg' was op 2,8 AE, was uit elkaar gespat en de planetoïden vormden de restanten. Deze hypothese is echter verlaten. In de eerste plaats is de totale massa van de planetoïden veel te klein voor een planeet. Bovendien is er geen enkel mechanisme bekend dat energie kan leveren om een planeet uit elkaar te laten spatten. Tegenwoordig denkt men dan ook dat de planetoïden zijn ontstaan op een plaats waar zich om bijzondere redenen geen planeet kon vormen.

Vast staat dat de oorsprong van de planetoïden nauw samenhangt met die van de planeten en gezocht moet worden in interstellaire gas- en stofwolken. Een toename van de dichtheid, in gang gezet door een of ander heftig kosmisch verschijnsel, bijvoorbeeld de explosie van een ster, heeft waarschijnlijk geleid tot condensatie van de wolk en tot samenklontering van het interstellaire stof. Zo hebben zich *planetesimalen* kunnen vormen, objecten met een diameter van ongeveer 100 km. Deze zijn vervolgens samengepakt tot veel compactere objecten, waarvan de grootte samenhangt met de hoeveelheid materie op de betreffende plaats in de interstellaire wolk.

6



7



De vraag is nu waarom de samenklontering van de planetesimalen in dit gebied van het zonnestelsel is gestopt, terwijl hij elders doorging? Golden hier bijzondere invloeden van buitenaf?

Volgens de astrofysicus V.S. Safronov heeft de nabijheid van de toekomstige reuzenplaneet Jupiter een doorslaggevende rol gespeeld. Jupiter is verreweg de grootste planeet van het zonnestelsel: zijn massa is 2,5 maal zo groot als de massa van alle andere planeten samen. Zijn zwaartekracht is op die van de zon na de grootste. De opeenhoping van zoveel massa heeft ongetwijfeld invloed gehad op de vorming van het zonnestelsel. Safronov gaat er-

van uit dat het, in wat toen de toekomstige planetoïdengordel was, wemelde van de planetesimalen. In de omgeving van Jupiter zouden deze veel compacter geweest zijn dan elders. Het merendeel van deze simalen zou verdicht zijn tot Jupiter, terwijl sommige, als gevolg van botsingen, een langgerektere baan zijn gaan beschrijven, waardoor zij uit de omgeving van de wordende Jupiter verdwenen en de toekomstige planetoïdengordel kruisen. Daar zouden zij een complete ravage hebben aangericht. Sommige van de veel lichtere simalen in de gordel zouden zijn weggeslingerd, terwijl andere een versnelling ondergingen, op andere botsten en daarbij gefragmenteerd werden. Deze hypothese lijkt heel redelijk, maar laat toch een aantal vragen onbeantwoord.

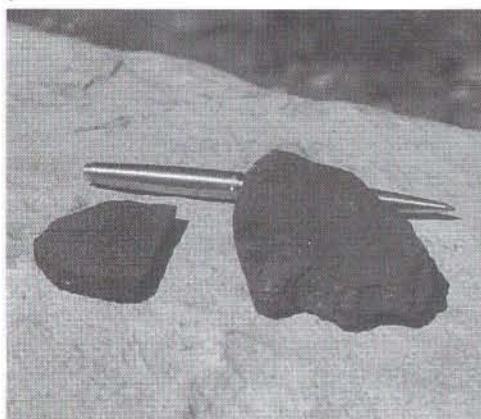
Als Safronovs verklaring helemaal zou kloppen, zou men verwachten dat de planetoïden regelmatig over de gordel verdeeld zouden zijn. Dat is echter niet het geval: binnen de gordel zijn twee duidelijke zones te onderscheiden. Het binneste deel (tussen 2 en 3,3 AE) is dicht 'bevolkt', met uitzondering van smalle zones waar nauwelijks planetoïden aanwezig zijn. Deze liggen op 2,5, 2,82, 2,96 en 3,28 AE van de zon. Buiten deze zones, die de *kloven van Kirkwood* worden genoemd, komen ook gebieden voor waar relatief veel planetoïden aanwezig zijn.

Daarnaast is er ook een buitenste zone (tussen 3,3 en 5,2 AE) waar de planetoïden in duidelijk afgebakende gebieden voorkomen: de Hilda-groep op 3,9 AE, de planetoïde Thulé op 4,3 AE en de Trojanen – een groep vernoemd naar helden uit de Trojaanse oorlog – op 5,2 AE, precies in de baan van Jupiter. De verdeling in deze zones is moeilijk uit eenvoudige botsingen te verklaren.

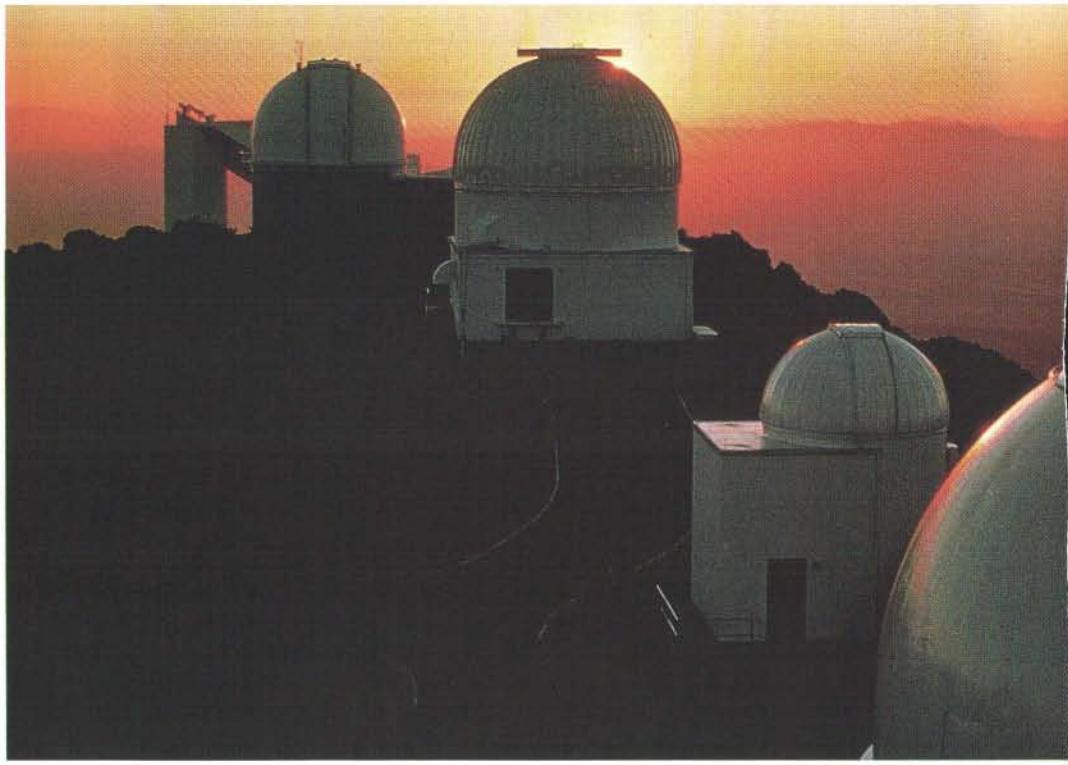
### Resonerende banen

Voordat we hierover een tipje van de sluier kunnen oplichten, moeten we eerst iets zeggen over de derde wet van Kepler. Deze legt verband tussen de omlooptijd van een object om de zon en de straal, of liever: de halve lange as van de baan, de gemiddelde afstand tot de zon. De derde macht van de halve lange assen van verschillende objecten verhouden zich als de kwadraten van hun omlooptijden. In de halve lange assen van de kloven van Kirkwood (zie boven) valt geen systeem te ontdekken.

8



6. Wanneer met een telescoop een planetoïde wordt waargenomen en gefotografeerd, is deze doorgaans zichtbaar als een streepje, doordat de relatief nabije planetoïden bewegen ten opzichte van de sterren.
7. De omlooptijd van een planetoïde om de zon is afhankelijk van de straal van zijn baan. Eén van de grootste raadsels waarvoor de planetoïden ons stellen is de verdeling van de stralen van hun banen, of liever: hun omlooptijden. De grafiek laat zien hoeveel asteroïden in een baan met een bepaalde straal zitten. Op de bovenste schaal zijn de omlooptijden uitgedrukt in verhouding tot die van Jupiter. Van een gelijkmataige verdeling is geen sprake: er zijn duidelijke concentraties en lacunes op welbepaalde plaatsen.
8. Verdwaalde brokstukken van planetoïden bereiken soms de aarde als meteorieten. Doorgaans zijn ze slechts klein. Het zijn dankbare objecten om de samenstelling van deze hemellichamen aan te bestuderen.



9

Rekent men de bijbehorende omlooptijden uit dan is er wel systeem zichtbaar. Deze blijken in een eenvoudige verhouding – een rationele breuk met relatief kleine gehele coëfficiënten – tot de omlooptijd van Jupiter te staan. De betreffende posities worden *resonantieposities* genoemd. Een planetoïde op resonantiepositie 3/2 maakt drie omwentelingen om de zon in de tijd dat Jupiter er twee maakt.

Men vindt de kringen van Kirkwood op de resonantieposities 3/1, 5/2, 7/3 en 2/1. De planetoïden daartussen bevinden zich op posities die niet in een dergelijke eenvoudige breuk zijn uit te drukken.

Kijkt men naar het buitenste deel van de gordel dan doet zich daar merkwaardigerwijs het omgekeerde voor: daar zitten juist de planetoïdenconcentraties op de resonantieposities: de Hildagroep op 3/2, Thulé op 4/3 en de Trojanen op 1/1, de baan van Jupiter. Dat betekent dat voor deze planetoïden geldt dat zij met een vast ritme in dezelfde positie ten opzichte van Jupiter staan en dus ook in datzelf-

de ritme de zwaartekracht van deze planeet ondergaan. Men kan dit vergelijken met een schommel die bij iedere neerwaai een duw krijgt.

Hoe is nu de paradox te verklaren dat de resonantieposities in de buitenste gordel bezet zijn, en in de binnenste gordel leeg? De situatie in de buitenste gordel is met behulp van mathematische modellen nog wel te verklaren. In het geval van de Trojanen (resonantie 1/1) is dat vrij eenvoudig. Deze draaien om de zon met dezelfde snelheid en in dezelfde baan als Jupiter. Ze zijn in twee groepen verdeeld, één op  $60^\circ$  vóór de reuzenplaneet, de ander op  $60^\circ$  er achter (afb. 1). De relatieve configuratie van deze twee groepen en Jupiter is stabiel; de resonantie houdt het evenwicht in stand. Voor de overige resonanties (4/3 en 3/2) is dat niet zo eenvoudig, maar men kan zich voorstellen dat de regelmatige invloed van de zwaartekracht van Jupiter een bescherming biedt tegen allerlei invloeden die de banen zouden kunnen destabiliseren.



9. Het Kitt Peak Observatory in de Amerikaanse staat Arizona bevat onder andere de zogenaamde Space Watch Telescope. Deze is betrokken bij een onderzoeksproject van de University of Arizona in Tucson dat tot doel heeft om planetoïden die wellicht met de aarde botsen zo vroeg mogelijk op te sporen, zodat met raketten geprobeerd kan worden hun baan te veranderen.

10. Een artist impression van een bemande ruimtevlucht naar een planetoïde. De mogelijkheid van een dergelijke missie wordt niet uitgesloten. Op bescheiden schaal wordt aan voorbereidend technisch onderzoek gedaan.

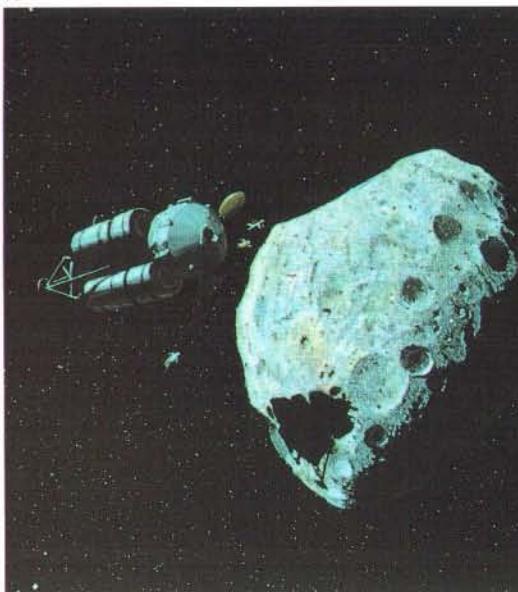
Met behulp van dezelfde computermodellen kan men ook verklaren waarom de buitenste gordel zoveel planetoïden bevat. Omdat dit gebied zo dicht bij Jupiter ligt is het effect van de zwaartekracht van die planeet zo groot dat planetoïden buiten de resonantieposities gemakkelijk uit hun baan geslingerd kunnen worden. Deze verklaring geldt echter alleen voor het gebied tussen 3,9 en 5,2 AE en is bijvoorbeeld niet van toepassing op het lege gebied tussen 3,3 en 3,9 AE. Die lege is met de bestaande theorieën en modellen niet te verklaren.

#### De kloven van Kirkwood

Een verklaring voor het bestaan van de lege banen op resonantieposities in de binnenste gordel is evenmin eenvoudig. Toch zijn hier in de loop der jaren diverse hypothese voor aangevoerd, die, gezien hun tekortkomingen, vooral laten zien hoe ingewikkeld een schijnbaar eenvoudig probleem kan zijn.

Een aantal hypothese is vooral *statisch* van aard. Om deze te begrijpen moet men zich een slinger voorstellen. Wanneer de slinger tussen de twee uiteinden van zijn baan precies op het middelpunt is, is zijn snelheid het grootst. De slinger bevindt zich echter maar een fractie van de slingertijd in deze positie. Als men op een willekeurig moment naar de slinger kijkt, is het zeer waarschijnlijk dat deze zich niet in de middenpositie bevindt. Bekijken we een zeer groot aantal slingers tegelijk dat zal zich hooguit een enkele in de middenpositie bevinden. Datzelfde zou op kunnen gaan voor planetoïden, als men zich voorstelt dat deze slingeren om een middenpositie, de resonantiepositie,

10



Die zou dan leeg lijken. Computersimulaties hebben echter laten zien dat de kloven van Kirkwood te smal zijn om een dergelijke verklaring te rechtvaardigen.

Een tweede groep hypothese gaat uit van *botsingen* van planetoïden in bepaalde resonantieposities met andere, waardoor ze uit hun baan geslingerd of vernietigd zouden zijn. Voor deze hypothese spreekt dat in de dichte binnenste gordel het aantal botsingen groot is, terwijl ze bovendien vaak als resultaat hebben

dat de botsende planetoïden een meer excentrische baan gaan volgen, wat de kans op botsingen alleen maar vergroot. (Vergelijk de situatie met een skier die tijdens zijn afvaling temidden van andere skiers ruime bochten maakt.) Berekeningen laten ook zien dat het aantal excentriciteitsveranderingen rond de resonantieposities vrij groot is. Dezelfde berekeningen lieten echter ook zien dat er niet voldoende botsingen optreden om de kloven volledig te kunnen verklaren.

Omdat in de resonantieposities sprake is van een bijzondere invloed van de *zwaartekracht* van Jupiter, heeft men ook daarin een verklaring gezocht. Nu is de beschrijving van zwaartekrachtwisselwerkingen adequaat om de bewegingen van twee lichamen ten opzichte van elkaar te verklaren. Dat is veel moeilijker als het gaat om een object dat de zwaartekracht van meerdere objecten voelt. Hier paste men wiskundige methoden toe waarin uitgegaan wordt van een eenvoudige situatie die reeds verder wordt verfijnd. Het probleem was echter dat de daaruit resulterende vergelijkingen juist in de resonantieposities niet opgingen. Vervolgens is men op basis van die vergelijkingen toch computersimulaties gaan maken en de Amerikaan Wisdom, die ze uitvoerde, kon in 1983 aantonen dat rond de kloof op resonantiepositie 3/1 er een brede chaotische zone bestaat, waar planetoïden gemakkelijk uitgeslingerd kunnen worden. Wisdom maakte echter gebruik van sterk vereenvoudigde vergelijkingen en zijn resultaten zijn onvoldoende om het nagenoeg geheel ontbreken van planetoïden in de kloof te verklaren.

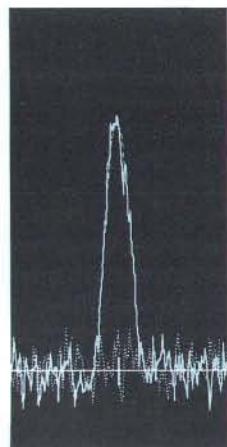
Toch gaf zijn werk de aanzet tot verder onderzoek, waarin onder anderen de Belgen Jacques Henrard en Annie Lemaître een belangrijke rol spelen. Men is optimistisch over de mogelijkheden om met nog geavanceerder computermodellen een verklaring voor de kloven van Kirkwood te vinden, al zal deze buitengewoon ingewikkeld zijn.

Einstein zei ooit: "Everything should be made as simple as possible, but not simpler". De verklaringen worden waarschijnlijk zo ingewikkeld, dat men zich zou kunnen afvragen of de vraagstelling wel goed was. Wie zich het hoofd breekt over de vraag hoe de kloven van Kirkwood onstaan zijn, ziet natuurlijk wel de mogelijkheid over het hoofd dat de uit Safronovs hypothese voortvloeiende gelijkmata-

verdeling van planetoïden misschien nooit bestaan heeft. De kloven zijn dan niet ergens uit ontstaan, maar waren er altijd al.

Volgens de *kosmogonische hypothese* zouden de kloven wel eens zones kunnen zijn waar de stofdeeltjes en gassen van de oorspronkelijke interstellaire wolk niet konden samenkloten. De gebundelde effecten van andere krachten dan de zwaartekracht – druk van de interstellaire ruimte, krachten van de zonne-

11. Met behulp van radarwaarnemingen aan planetoïden kan men de vaak grillige vormen van deze hemellichamen bepalen. Uit deze opname van Pallas is bijvoorbeeld afgeleid dat deze planetoïde vrijwel rond is en weinig grote onevenheden op het oppervlak heeft.



11

12. Een elektronenmicroscopische opname van een stofdeeltje dat op grote hoogte boven de aarde is opgepikt. Mogelijk is het van interstellaire oorsprong zodat het informatie bevat over het materiaal waaruit ooit ons zonnestelsel is ontstaan.

13

13. De Barringerkrater in de Amerikaanse staat Arizona is 40 000 jaar geleden ontstaan als gevolg van de inslag van een planetoïde. De fragmenten daarvan worden de Canyon Diablo meteorieten genoemd, naar de canyon op de achtergrond. Het ingestorte object was zo'n 35 meter in diameter en sloeg een gat met een diameter van 1200 meter en een diepte van 167 meter.

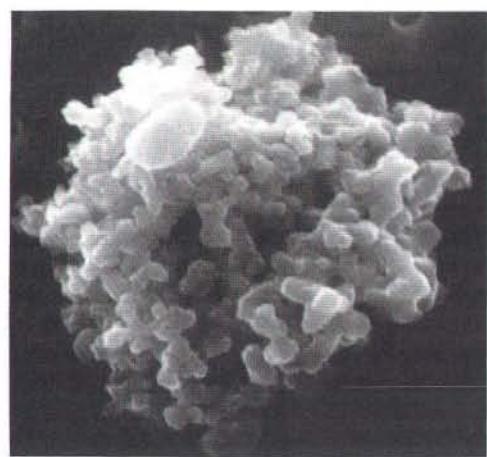


wind – en van de resonanties zouden er wel eens voor gezorgd kunnen hebben dat de stofdeeltjes uit deze zones verdreven zijn. Een andere mogelijke verklaring, mede opgesteld door Annie Lemaître, luidt dat de massa van Jupiter tijdens de vorming van de planeet snel is veranderd. Het klonteringsproces zou dan zijn verstoord door snelle veranderingen in de dynamische omstandigheden ter plaatse. Dat zou echter wel inhouden dat Jupiter eerder is

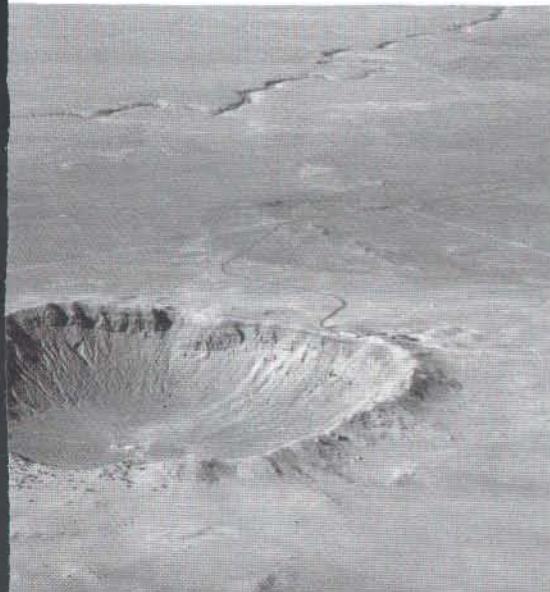
ontstaan dan de planetoïden. Zou Jupiter later zijn ontstaan, dan was op de plaats van de planetoïde Ceres een planeet gevormd.

Uiteraard hebben we in dit artikel niet alle fysische en dynamische problemen rond planetoïden kunnen behandelen. Een aantal hebben we slechts aangestipt zoals het verband met de meteorieten die op aarde vallen; nog meer zijn in het geheel niet genoemd. We hebben getracht aan de hand van een duidelijk afgebakend probleem, het effect van de resonanties op de ruimtelijke verdeling van de planetoïden, te laten zien welke kant dit onderzoek opgaat.

Een in de natuurkunde voor de hand liggende methode is het experiment. Dat is hier onmogelijk. Het is uitgesloten om een klein zonnestelsel te fabriceren en te bekijken hoe dit zich in 4,5 miljard jaar – de geschatte ouderdom van ons zonnestelsel – ontwikkelt. Van daar dat talrijke hypothesen en theorieën zijn opgesteld. Elk geven ze een gedeeltelijke verklaring voor de waargenomen verschijnselen; niet één verklaart de gehele structuur van de planetoïdengordel. Stapje voor stapje komen we dichterbij door een soort pingpongspel – dialectiek zouden filosofen zeggen – tussen theorievorming en computerberekeningen.



12



#### Literatuur

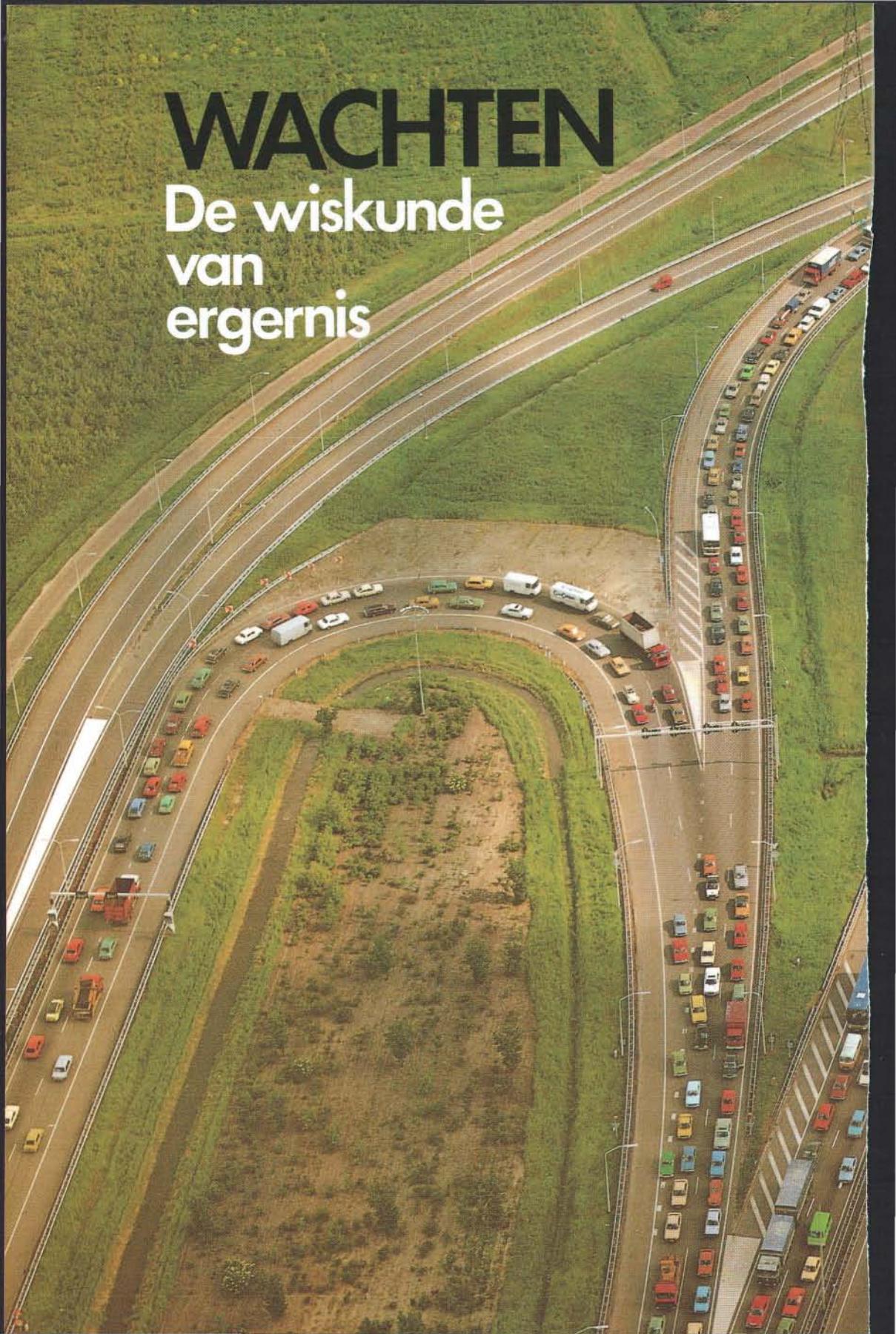
Gehrels T (ed.). *Asteroids*. Tucson: University of Arizona Press, 1972.  
 Lagerkvist CI, Inblad BA, Lundstedt H, Rickman H (eds.).  
*Asteroids, comets, meteors*, Uppsala, University of Uppsala. Vol. I, 1983, vol. II, 1985.

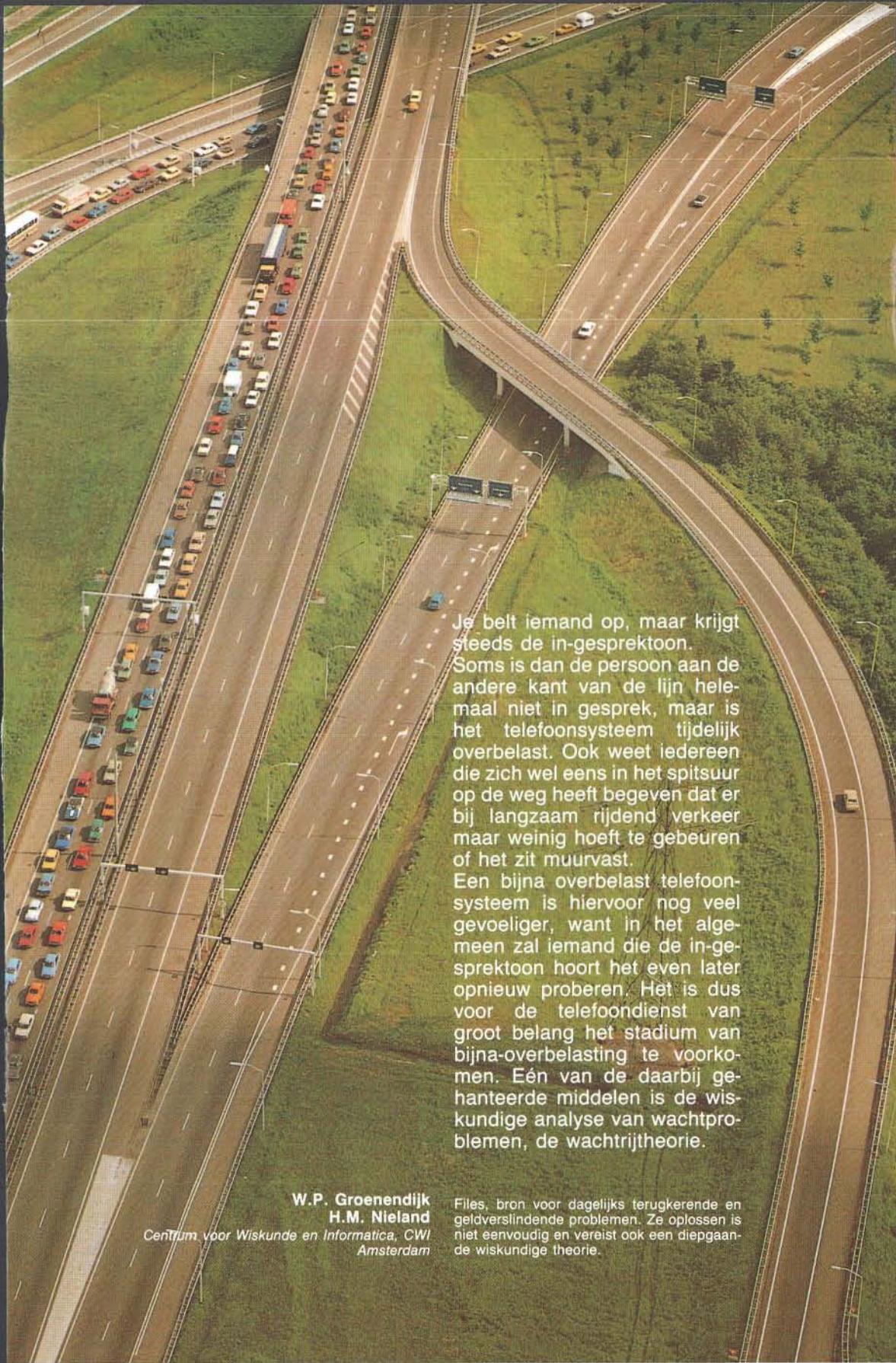
#### Bronvermelding illustraties

Lionel Brest, Parijs: pag. 904-905  
 La Recherche, Parijs: 1, 7  
 W. Bijleveld, Omnisversum, Den Haag: 2, 10, 12, 13  
 Hale Observatories: 3  
 Dr. E. Tedesco, JPL, Pasadena: 5  
 Stichting De Koepel, Utrecht: 6, 8, 9  
 Dr S. Otero, JPL, Pasadena: 11

# WACHTEN

## De wiskunde van ergernis





Je belt iemand op, maar krijgt steeds de in-gesprektoon. Soms is dan de persoon aan de andere kant van de lijn helemaal niet in gesprek, maar is het telefoonssysteem tijdelijk overbelast. Ook weet iedereen die zich wel eens in het spitsuur op de weg heeft begeven dat er bij langzaam rijdend verkeer maar weinig hoeft te gebeuren of het zit muurvast.

Een bijna overbelast telefoonssysteem is hiervoor nog veel gevoeliger, want in het algemeen zal iemand die de in-gesprektoon hoort het even later opnieuw proberen. Het is dus voor de telefoonondienst van groot belang het stadium van bijna-overbelasting te voorkomen. Eén van de daarbij gehanteerde middelen is de wiskundige analyse van wachtproblemen, de wachtrijtheorie.

**W.P. Groenendijk  
H.M. Nieland**

*Centrum voor Wiskunde en Informatica, CWI  
Amsterdam*

Files, bron voor dagelijks terugkerende en geldverslindende problemen. Ze oplossen is niet eenvoudig en vereist ook een diepgaande wiskundige theorie.

Wachten is geen probleem van vandaag of gisteren. En een telefooncentrale is ook niet de enige omgeving waar zich wachtproblemen voordoen. Wel hebben de enorm toegenomen mogelijkheden tot communicatie er toe geleid dat wachtproblemen relatief belangrijk zijn geworden. Spreiding van informatiesystemen bijvoorbeeld biedt weliswaar diverse voordeelen, maar veroorzaakt aan de andere kant een gigantische toename van het onderlinge gegevensverkeer met alle wachtproblemen van dien.

Een moeilijkheid is daarbij nog dat de regelsystemen om het wachten 'netjes' te laten verlopen, of ze nu de productie in een fabriek, het wegverkeer, de gegevensstroom in een computer, of een satellietverbinding regelen, ingewikkeld in elkaar zitten. Zonder voorafgaande grondige *prestatie-analyse* is vooraf meestal nauwelijks te zeggen of een bepaald ontwerp qua prestatie aan zijn verwachtingen zal beantwoorden. In de praktijk wordt echter zo'n ontwerp dan toch vaak maar 'op hoop van zegen' ingevoerd, omdat er bijvoorbeeld geen tijd is voor een grondige wiskundige analyse, of omdat de theorie de razendsnelle technische ontwikkelingen nog niet heeft kunnen bijbenen. Het is duidelijk dat hieraan fikse financiële risico's verbonden zijn; het gevaar is aanwezig dat na enige tijd het systeem toch niet blijkt te voldoen.

De wachtrijtheorie speelt dus een belangrijke rol. Laten we eerst eens terugkijken op de ontwikkeling van die theorie, vanaf haar ontstaan in het begin van deze eeuw.

### Fluctuerend aanbod

De wachtrijtheorie komt voort uit de telefonie. In het begin van deze eeuw al raakten de beschikbare lijnen in telefooncentrales steeds vaker overbelast. De vraag was hoeveel extra telefoonlijnen men moet aanleggen om de kans op overbelasting binnen de perken te houden. Uit economische overwegingen wil men natuurlijk ook weer niet al te veel lijnen aanleggen.

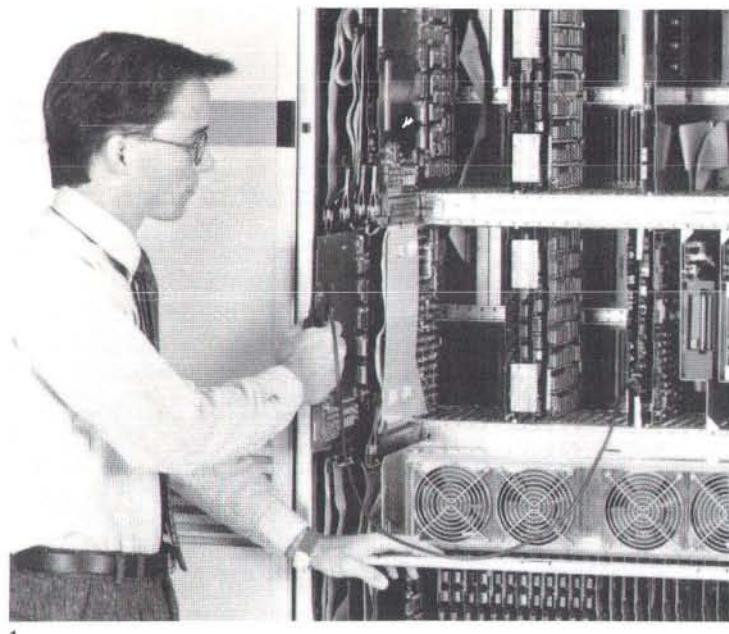
In 1909 publiceerde de Deense wiskundige A.K. Erlang het artikel 'Waarschijnlijkheids-theorie en teleongesprekken', dat het begin vormt van de wachtrijtheorie. Het ging Erlang erom een afweging te maken tussen het aanbod van gesprekken, het aantal telefoonlijnen

en de mate van dienstverlening. Tot 1945 ontwikkelde de wachtrijtheorie zich geheel binnen het kader van de telefonie. Tegenwoordig is zij nog steeds een onmisbaar hulpmiddel bij het ontwerpen van telefooncentrales.

Na de Tweede Wereldoorlog kwam men al gauw tot de ontdekking dat de voor de telefonie zo succesvolle wachtrijtheorie ook gebruikt kon worden in veel andere situaties, zoals bij het wegverkeer, en voor banken, ziekenhuizen en fabrieken. De belangrijke stimulans die van de naoorlogse technologische revolutie uitging, raakte ook de wachtrijtheorie, vooral in verband met management- en planningsvraagstukken. Vragen als: hoeveel productielijnen moeten er in een nieuw te bouwen fabriek worden geplaatst, of hoeveel bedden moeten er in een ziekenhuis beschikbaar zijn, kunnen met de wachtrijtheorie worden aangepakt. Door de komst van krachtige rekenapparatuur konden nu wiskundige modellen in de economie en het management opeens wel numeriek worden doorgerekend.

In de jaren vijftig had de theorie van *stochastische processen*, gebeurtenissen waarbij de toestandsovergangen door het toeval bepaald fluctueren, zich inmiddels zodanig ontwikkeld dat deze een belangrijk element ging vormen in de wachtrijtheorie. In de praktijk heeft een wachtprobleem vaak een stochastisch karakter: de aantallen auto's in het verkeer en het aantal gewenste teleongesprekken vertonen natuurlijk vaste patronen, maar daarbinnen kunnen nog grote fluctuaties optreden, denk maar aan de spitsuren. Zoals nog nader zal worden toegelicht zijn enkele van de meest karakteristieke uitkomsten van de wachtrijtheorie een gevolg van het toevals-element in het systeem.

De explosieve groei van de rekenapparatuur in de jaren zestig zorgde ook op een andere manier voor een doorbraak van de wachtrijtheorie. Voordien konden computers maar door één persoon tegelijk worden gebruikt. Toen het aantal computergebruikers flink ging toenemen, bleek echter al gauw dat de centrale verwerkingseenheid meestal stil lag, bijvoorbeeld omdat randapparaten zoals kaartlezer of regeldrukker ergens mee bezig waren. Het *time-sharing principe*, waardoor veel gebruikers tegelijkertijd hun programma's konden laten verwerken, loste dat probleem goeddeels op. Het is één van de eerste toepassingen van



1

1. IBM introduceerde vorige maand een nieuwe gecomputeriseerde bedrijfstelefooncentrale. Alle communicatie binnen een bedrijf, zowel tussen computers als personen, in de vorm van spraak en data, kan door deze centrale verwerkt worden. Het systeem beschikt over uitgebreide 'wachtprogrammatur': het zoekt automatisch naar alternatieve routes om een verbinding toch tot stand te brengen en het houdt bij welke onderdelen meer of minder gebruik wordt, zodat op grond daarvan capaciteitaanpassing mogelijk is.

prestatie-analyse in de computerwereld. Wat later ging men steeds meer *on-line* werken met terminals die direct met een computer waren verbonden. Toen raakte men vooral geïnteresseerd in het realiseren van een korte respons-tijd, dat is de tijd die verstrijkt tussen het in-toetsen van een commando en het antwoord krijgen van de computer. Ook daarvoor was toepassing van wachtrijtheorie noodzakelijk. Betrekkelijk eenvoudige modellen blijken hier het gedrag van nog te bouwen systemen goed te kunnen voorspellen.

Een tamelijk recente ontwikkeling is de opkomst van de gespreide systemen en computer-netwerken. Daarbij worden computers met elkaar verbonden om gegevens uit te kunnen wisselen en gebruik te maken van elkaars faciliteiten. Het wachtrijmodel wordt nu meteen een stuk ingewikkelder, omdat ook de onderlinge gegevensstromen tussen de computers moetellen.

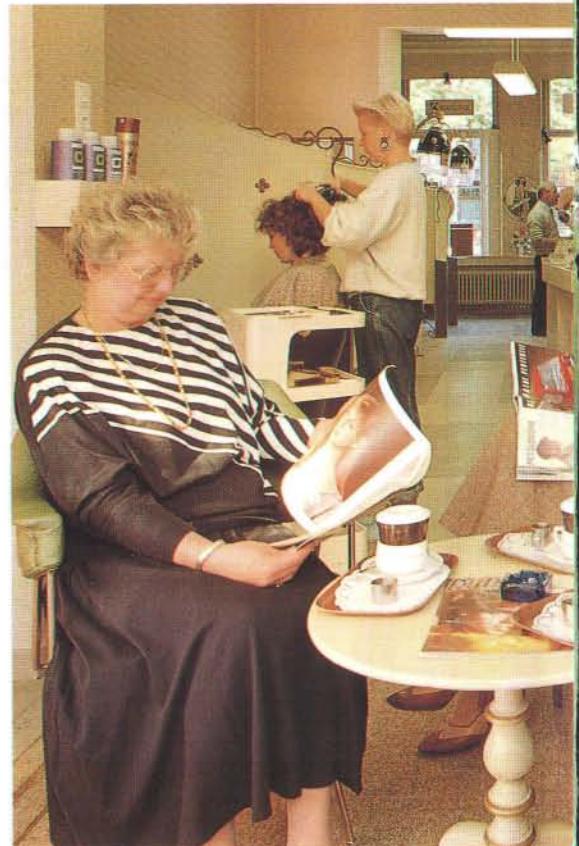
Nu, in de jaren tachtig, zijn door de snelle opmars van de computer, in combinatie met sterk verbeterde verbindingen, de mogelijkheden tot informatie-uitwisseling nog aanzienlijk toegenomen: kabeltelevisie, Viditel, elektronische post, satellietverbindingen, computer-gestuurde voice-and-data netwerken (geschikt

voor zowel gewone gesprekken als voor overzending van computergegevens) en kantoorautomatisering. We moeten echter uitkijken dat het ons hier niet hetzelfde vergaat als degenen die vroeger dachten dat de files van de baan zouden zijn door meer, grotere en betere wegen aan te leggen. De honderden miljoenen gulden die de files de Nederlandse economie jaarlijks kosten, spreken boekdelen. Nieuwe snelwegen oefenen zo'n aantrekkingskracht uit, dat het surplus aan capaciteit of snelheid al gauw teniet is gedaan door een nog veel sterke toename van het aanbod. Ook hier dus weer nieuwe wachtpartijen. Fundamenteel wiskundig onderzoek naar wachtpartijen is dan ook van groot economisch en maatschappelijk belang. Dat ook de industrie dat belang inziet mag onder meer blijken uit de grote aantallen onderzoekers op dit gebied bij research-laboratoria van bedrijven als IBM en AT&T, die het resultaat bovendien snel in hun nieuwe produkten verwerken. In Nederland is in 1986 de AKZO-prijs toegekend aan prof. dr. J.W. Cohen, hoogleraar aan de Rijksuniversiteit te Utrecht en adviseur van het Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI) te Amsterdam, voor zijn werk op het gebied van de wachtrijtheorie.

## De kapper en de file

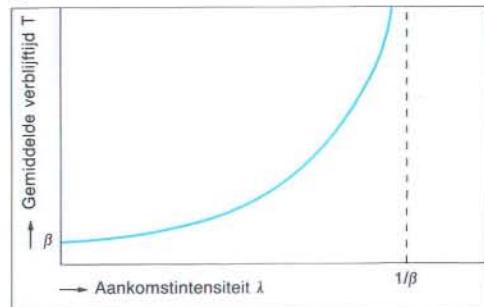
Wachtrijmodellen kunnen beschreven worden volgens een abstract model. Beschouw een stelsel van bedieningscentra, met elk één of meer bedienden (telefoonlijnen, dokters, processoren). Bij deze bedieningscentra arriveren klanten (telefoonoproepen, patiënten, computer jobs) met een zekere hoeveelheid werk. De klanten kunnen lang niet altijd direct geholpen worden, en moeten dan op hun beurt wachten, of gaan direct weg, zoals telefoonoproepen die in gesprek krijgen. Niet alle klanten hebben precies dezelfde bedieningsvraag en zij volgen ook niet steeds dezelfde route van bedieningscentrum naar bedieningscentrum. Een niet al te microscopische beschouwing van het model suggereert een zeker random karakter van aankomst-, bedienings- en routeringsprocessen. De kansrekening doet daarom haar intrede: kansen op de diverse routes worden geïntroduceerd, kansverdelingen voor tijdsintervallen tussen de aankomst van klanten, en kansverdelingen voor gevraagde bedieningstijden opgesteld. Na het invoeren van deze kansverdelingen mag men natuurlijk niet hopen nog exacte uitspraken te kunnen doen over wachttijden en aantal klanten. Men moet genoegen nemen met uitspraken in de trant van: de kans dat een willekeurige klant nergens hoeft te wachten is 0,1; de gemiddelde verblijftijd van een klant in het systeem is 67 seconden, met een spreiding van 40 seconden. De wachtrijtheorie probeert kwalitatieve en kwantitatieve verbanden aan te geven tussen systeemgrootheden en prestatie- of dienstverleningsmaten. Zodoende stelt men de beslissers in staat hun beleid beter te onderbouwen.

Laten we het bovenstaande concretiseren, door zo'n kwalitatief verband te geven voor één der eenvoudigste wachtrijsystemen: een kapperszaak met een kapper, die klanten knipt in volgorde van binnenkomst. In plaats van kapper en klanten kan men ook invullen: computer en jobs; dat verandert niets aan het verhaal. Het aankomstproces van de klanten kan redelijk nauwkeurig worden beschreven door een Poissonproces, een standaardproces uit de kansrekening. Er arriveren gemiddeld  $\lambda$  klanten per tijdseenheid (per uur bijvoorbeeld). De gevraagde bedieningstijden van de klanten volgen een zogenaamde negatief exponentiële kansverdeling, een zeer gangbare kansverde-



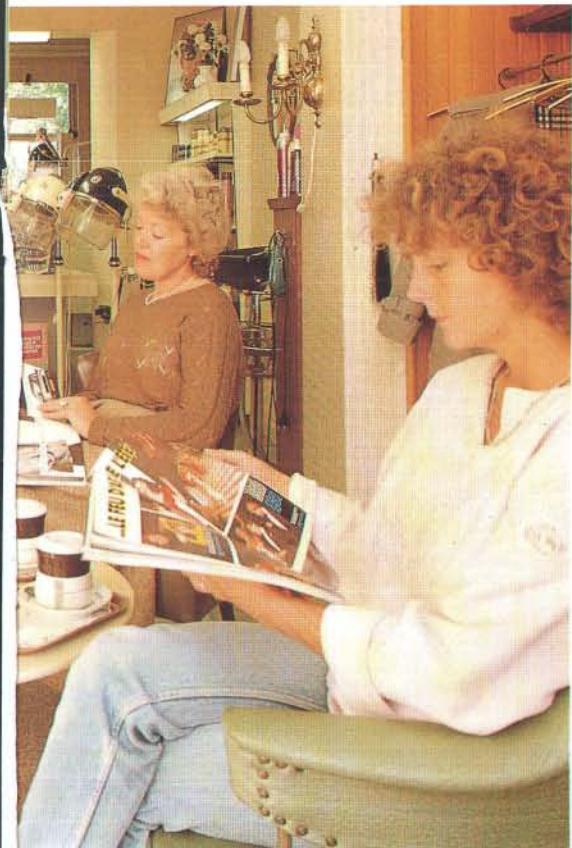
2

3



2. Wachten bij de kapper hoeft niet altijd vervelend te zijn. Soms is de kapperszaak een ontmoetingsplaats met een sociale functie. In de muziek kent men zelfs de Barber Shop Songs, meerstemmige muziek, die, naar men zegt, zijn oorsprong heeft in zangimprovisaties door wachtende kappersklanten. Voor de ontwikkeling van deze muziek was het goed dat  $\lambda$  in de buurt van  $1/\beta$  lag.

3. De gemiddelde verblijftijd  $T$  afgezet tegen  $\lambda$ , het aantal klanten dat per tijdseenheid arriveert. De gemiddelde kniptijd is  $\beta$ .



## Kans op klanten; kans op wachten

We kunnen de formule voor de gemiddelde verblijftijd, bijvoorbeeld van een klant in een kapperszaak, tamelijk eenvoudig afleiden. De gemiddelde verblijftijd ( $T$ ) van de klant bestaat uit twee componenten: zijn gemiddelde wachttijd ( $W$ ) en zijn bedieningstijd ( $\beta$ ): dus  $T = W + \beta$ . Eerst moet de klant wachten tot alle klanten die aanwezig waren toen hijzelf de kapperszaak betrad, weg zijn. Dat kost een tijd  $W = \beta \times GAK$  (gemiddeld aantal aangetroffen klanten). We kunnen bij dit systeem aantonen, het is trouwens niet zo moeilijk in te zien, dat het gemiddeld aantal aangetroffen klanten gelijk is aan het gemiddeld aantal achtergelaten klanten. Dus ook geldt:  $W = \beta \times (\text{gemiddeld aantal achtergelaten klanten})$ . Merk nu op dat

ling die hier niet nader wordt toegelicht. De gemiddelde kniptijd is  $\beta$ . Als  $\beta$  bijvoorbeeld een kwartier is, dan moeten gemiddeld minder dan vier klanten per uur arriveren, wil het werk de kapper niet boven het hoofd groeien (al groeit het werk van een kapper meestal wel boven het hoofd). Algemeen moet  $\lambda\beta$  kleiner dan één zijn. Maar hoe hangt de gemiddelde tijd  $T$ , die een klant in de kapperszaak doorbrengt, verder af van  $\lambda$  en  $\beta$ ? De wachtrijtheorie leert dat

$$T = \frac{\beta}{1 - \lambda\beta}, \quad \lambda\beta < 1.$$

Dit is een logische formule: als  $\lambda$  heel klein is, dus als slechts zelden een klant arriveert, is de gemiddelde verblijftijd van een klant in de zaak nauwelijks groter dan  $\beta$ , de gemiddelde kniptijd. En naarmate  $\lambda$  dichter bij  $1/\beta$  komt, stijgt de gemiddelde verblijftijd. De precieze vorm  $1/(1 - \lambda\beta)$  is minder vanzelfsprekend, maar wel karakteristiek voor wachtrijmodellen. Het is uiterst belangrijk zich van dit verschijnsel bewust te zijn. Voor  $\lambda = 0,45/\beta$  is  $T$  iets kleiner dan  $2\beta$ . Een klant wacht dan gemiddeld iets minder dan één bediening. Voor  $\lambda = 0,9/\beta$ , een verdubbeling van de klantenstroom, is  $T = 10\beta$ . En een kleine extra verhoging van  $\lambda$  doet de gemiddelde verblijftijd geweldig toenemen. Dit verschijnsel zien we ook bij wegverkeerssystemen, waar rijstroken

de achtergelaten klanten allemaal zijn binnengekomen gedurende de verblijftijd van de vertrekende klant. Dus  $W = \beta \times \lambda T$ , waarin  $\lambda$  het aantal klanten is dat per uur arriveert. Dit invullen in de formule  $T = W + \beta$  geeft uiteindelijk de in de tekst gegeven formule voor de gemiddelde verblijftijd. De kans dat er op een bepaald moment  $k$  klanten in de kapperszaak zijn, wordt gegeven door:

$$PR\{k \text{ klanten}\} = (1 - \lambda\beta)(\lambda\beta)^k, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

Het gemiddeld aantal klanten in het systeem  $X$ , wordt nu gegeven door

$$X = \Sigma (1 - \lambda\beta)k(\lambda\beta)^k = \frac{\lambda\beta}{(1 - \lambda\beta)}.$$

de rol van kappers overnemen: een lichte toename van al behoorlijk druk verkeer kan tot een enorme toename van aantal en omvang van de files leiden.

Een vuistregel is dat de belasting van een systeem ruimschoots, liefst minstens 30%, onder de kritische grens  $\lambda\beta = 1$  moet worden gehouden om tot een acceptable dienstverlening te komen. De voornaamste oorzaak van lange verblijftijden in een systeem dat het verkeer gemiddeld wel aan zou moeten kunnen, is het random karakter van het aanbod. Indien verblijftijden te dikwijls onaanvaardbaar hoog worden, moet een kapper of rijstrook worden toegevoegd. Een alternatief voor de kapper is het werken op afspraak ten einde het random karakter van het systeem te verminderen en het wachtprobleem buiten de deur te houden. Welke maatregel wordt genomen is natuurlijk vooral een economische afweging. De wachtrijtheorie helpt slechts inzicht te verkrijgen in de gevolgen van diverse mogelijke beslissingen. Zij is bijvoorbeeld in staat ook voor een kapperszaak met meerdere kappers een formule te geven voor de gemiddelde verblijftijd  $T$ , en zelfs voor de gehele kansverdeling van die verblijftijd.

### Computers in netwerken

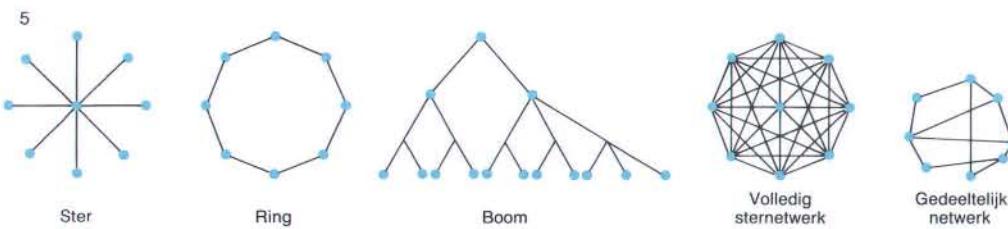
Karakteristiek voor moderne computersystemen is de geografische spreiding van de componenten: computers en randapparatuur worden met elkaar verbonden via netwerken. Het doel hiervan is informatie te kunnen uitwisselen en elkaar of centrale faciliteiten als regel-drukkers of databanken te kunnen gebruiken. Gespreide verwerking van gegevens is heel natuurlijk: het menselijk brein werkt bijvoorbeeld op een buitengewoon ‘gespreide’ manier. Verschillende gedeelten van onze hersenen zijn gespecialiseerd in verschillende functies, zoals spraak en beeldverwerking. Toch

schijnt er geen punt aanwijsbaar te zijn waaraan alles geregeld wordt; ons bewustzijn kan niet op één groepje cellen in onze hersenen teruggevoerd worden.

Helaas zijn de theoretische basisprincipes voor het bouwen van gespreide systemen nog onbekend, en daardoor vallen hun prestaties in de praktijk nogal eens tegen: hoge kosten, lange responslijsten, lage efficiëntie en onverwacht vastlopen van het systeem. Vooral bij de wachtproblemen in een gespreide omgeving staat de theorie nog in de kinderschoenen. Het is voornamelijk op dit gebied dat de technische ontwikkelingen zo snel gaan, dat het door de theorie niet bij te benen valt.

Eén van de belangrijkste aspecten bij gespreide verwerking is de mate waarin de onderdelen van een systeem tegelijk aan het werk kunnen zijn. Vooral vanuit de technisch-wetenschappelijke hoek is er een vrijwel onverzadigbare behoefte aan computercapaciteit. Daaraan kan maar ten dele worden voldaan door snellere apparatuur; men tracht dit dan ook te bereiken door de architectuur van het systeem en de te gebruiken algoritmen zo in te richten en – vooral – op elkaar af te stemmen dat de berekeningen en verdere bewerkingen in de computer kunnen worden uitgevoerd door een aantal processoren te laten samenwerken. Dat gebeurt bijvoorbeeld in vector-computers en in parallelle machines. Theoretisch zou, door gebruik te maken van  $P$  processoren, een probleem  $P$  maal zo snel kunnen worden opgelost als met één processor. Het op elkaar wachten van onderdelen van een programma doet deze winst echter ten dele teniet: het blijkt vaak maar ongeveer  $\log P$  keer zo snel te gaan.

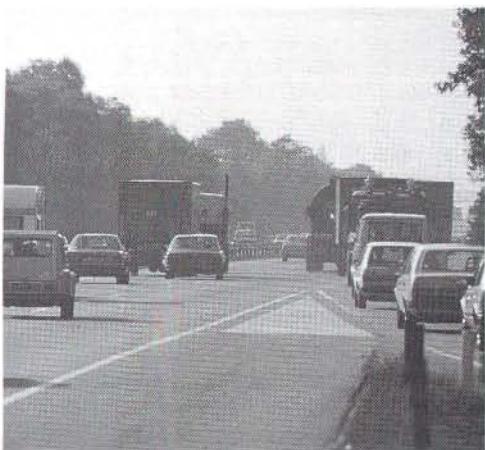
Een speciale vorm van een gespreid computersysteem is het Local Area Network (LAN). Zo'n systeem is gesitueerd in een geografisch klein gebied. De kleine afstanden scheppen de mogelijkheid tot zeer snelle informatiever-



## Sequentieel en parallel

Zoals al gezegd moeten de algoritmen die gebruikt worden bij parallele verwerking van gegevens daarvoor speciaal ontwikkeld worden. Het volgende geeft een fraai voorbeeld van het verschil tussen een sequentieel en een parallel algoritme. Stel dat iemand je vraagt een getal te bepalen uit de verzameling  $\{0, 1, 2, \dots, 15\}$ , waarbij je slechts vier vragen mag stellen, die alleen met ja of nee beantwoord worden. Er is een (binaire) zoekmethode die snel het antwoord geeft. Door eerst te vragen of het getal

kleiner dan acht is, halveer je het zoekgebied. Gebaseerd op dat antwoord kun je het zoekgebied opnieuw halveren. Op die manier houd je na vier vragen het juiste getal over. Zou je het antwoord nu ook kunnen bepalen door vier vragen parallel te stellen, waarbij je dus vier vragen opschrijft die daarna alle vier tegelijk beantwoord worden? Het antwoord is ja. Probeer het maar eens. Uit het feit dat dit mogelijk is, blijkt dat dit probleem zich ook leent voor parallelle uitvoering, en dat we dan een speciaal ontworpen parallel algoritme nodig hebben.



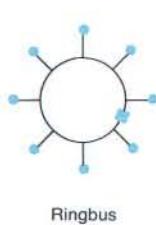
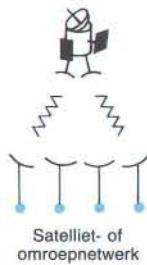
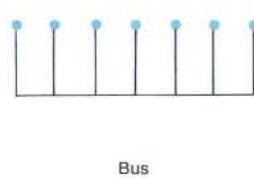
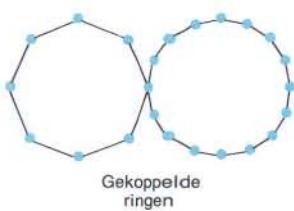
4

4. Een klein extra aanbod kan bij druk verkeer al direct tot grote opstoppingen leiden.

5. Er bestaan vele soorten netwerken, die ieder in bepaalde gevallen hun voordeelen hebben. Computers, en met name PC's, verbindt men tegenwoordig vaak met een ringsysteem. De hoeveelheid kabel, evenals de wachttijden blijven dan beperkt.

uitwisseling tussen grote aantallen verschillend geaarde werkstations (mainframes, personal computers, terminals). LAN's zijn uitermate geschikt voor gebruik binnen een kantoor, bedrijf of universitaire instelling. Als we echter willen dat alle gebruikers van een LAN op elk gewenst moment met elkaar kunnen communiceren, dan zou er een volledig netwerk kabels gelegd moeten worden. Vooral bij grotere LAN's, die honderden stations kunnen tellen, struikelt je dan al gauw over de draden. Het alternatief is dan een gemeenschappelijk communicatiekanaal. Daarbij is dan om botsingen tussen berichten te voorkomen, wel een regeling van het boodschappenverkeer nodig (een protocol) en treden er onvermijdelijk wachttijden op.

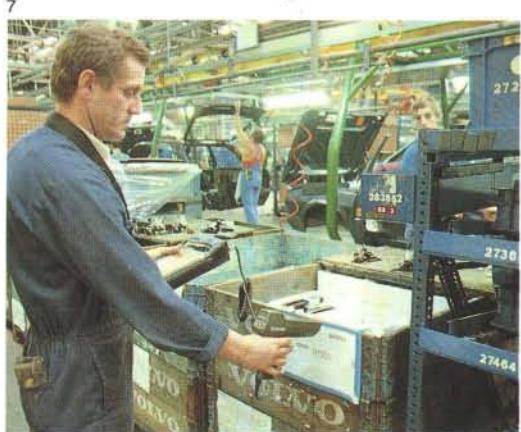
Een veel gebruikte configuratie voor een LAN is de ring: de werkstations zijn via een ringleiding met elkaar verbonden. In een wachtrijformulering kan de ring worden gezien als bediende en de boodschappen als klanten. Eén van de standaardprotocollen die zijn ontworpen om te voorkomen dat twee gebruikers tegelijkertijd van de ring gebruik maken



6, 7, 8 en 9. Just-in-time-produceren gebeurt bijvoorbeeld bij Volvo Car in Born. De introductie van JIT-management vraagt een grootscheepse reorganisatie van de produktieruimten en -methoden. De voorraden worden beperkt door strikte afspraken met toeleveranciers te maken. Voorraadbeheer vindt in principe plaats via de containers voor onderdelen: zijn ze leeg, dan gaan ze naar de toeleverancier en moeten vol weer terugkomen. Met een leespen wordt de code van de betreffende container geregistreerd (7). Ook aan de produktkant worden de voorraden beperkt gehouden. In principe wordt een auto pas gemaakt als hij besteld is. Dit kan alleen als alle mogelijke typen door elkaar op de band geproduceerd kunnen worden, omdat anders de wachttijden voor de klant onaanvaardbaar lang zouden worden (9). Computerterminals geven langs de hele productielijn aan in welke volgorde de productie plaatsvindt. De band waarop de motoren voor inbouw worden klaargemaakt bevat dan ook steeds een grote verscheidenheid aan modellen (6). Ook aan de hoofdproductielijn is de verscheidenheid te zien: alle kleuren en typen kunnen na elkaar voorkomen.



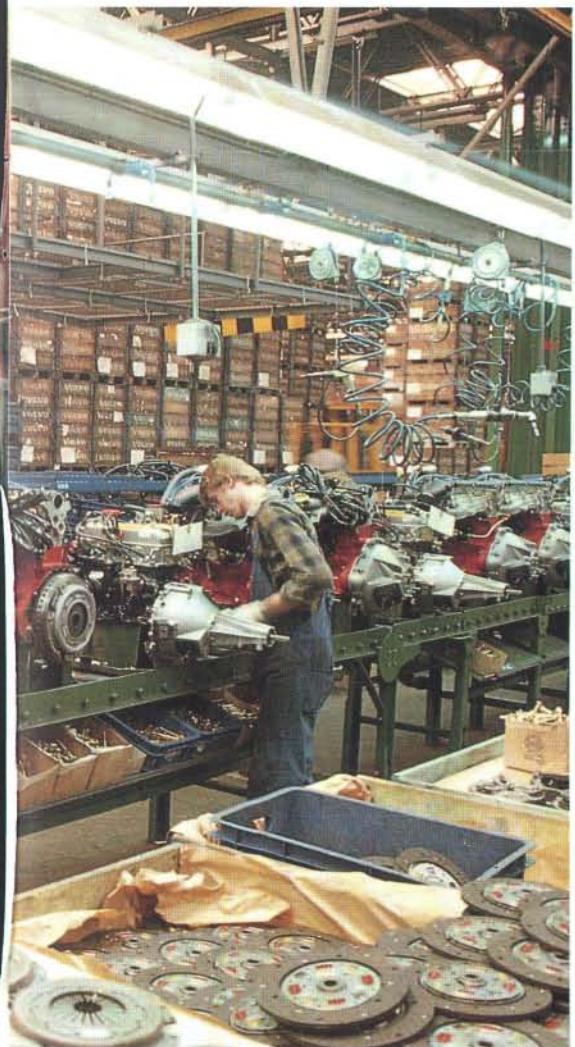
6



7



8



9



en zo in botsing komen, heet *token-passing*. Op de ring draait voordurend in een bepaalde richting een pakketje bits (het token) rond dat aangeeft of de ring vrij dan wel bezet is. Een gebruiker die iets te verzenden heeft moet wachten tot hij dat token voorbij ziet komen. Als het op 'vrij' staat zet hij het token meteen op 'bezett' en plakt zijn bericht erachter. De ontvanger kopieert de boodschap, waarna token en boodschap terugkeren naar de afzender, die het token weer op 'vrij' zet. Het blijkt dat onder dit protocol de gemiddelde respons-tijd voor een gebruiker bij een toenemend verkeersaanbod minder snel oploopt dan onder andere protocollen. De recente ontwikkeling van het IBM Token-ring netwerk steunde voor een belangrijk deel op resultaten uit de prestatie-analyse. Bij het CWI is onlangs, deels in samenwerking met het IBM research-laboratorium te Zürich, nader onderzoek gedaan naar de voor- en nadelen van diverse protocollen.

#### Telecommunicatie

Telefoons en communicatiesatellieten zijn in deze eeuw een niet meer weg te denken onderdeel van ons dagelijks leven geworden. Om enig inzicht te krijgen in de aard van de zich hier voordoende wachtproblemen moeten we eerst de werking van deze systemen wat nader bekijken.

Bij de telefoon hebben we te maken met abonnees, toestellen, lijnen en centrales. De verbinding tussen twee abonnees komt tot stand via centrales op diverse niveaus. Dat wordt gedaan om het aantal lijnen binnen de perken te houden. Met de wachtrijtheorie is precies uit te rekenen hoeveel lijnen nodig zijn om de wachttijden niet boven een bepaalde grens te laten groeien. Zoals in de inleiding is opgemerkt, is het speciaal bij het telefoonverkeer zaak om het stadium van bijna-overbelasting te voorkomen. Een moderne telefooncentrale werkt met een computer die oproepen kan verwerken. Achtereenvolgens zal die bij een oproep onder meer een kiestoorn genereren, de gedraaide cijfers analyseren, de juiste lijnen vrijmaken en de kosten registreren. Een binnengkomende oproep komt in de wachtrij te staan totdat hij wordt behandeld en de kiestoorn te horen is. Bij grote drukte kan die wachtrij, en daarmee de wachttijd tot de kies-



10. Moderne telefooncentrales, zoals hier één van AT&T Philips, zijn in feite gespecialiseerde computers. Ze bevatten elektronica en draaien met software waarmee wacht- en overbelastingsproblemen zo effectief mogelijk worden opgelost.

10

toon, zo groot worden (meer dan 5 à 10 seconden), dat een abonnee die niet gewend is zo lang te moeten wachten, de hoorn op de haak gooit en het opnieuw probeert. Zijn oorspronkelijke oproep blijft dan echter wel in de wachtrij staan, en vermindert daardoor de effectieve capaciteit van de processor. Dit effect kan snel cumuleren, met als gevolg dat bij praktisch alle oproepen die de processor behandelt, de abonnee al blijkt te hebben opgehangen. Het kan zelfs zo erg worden dat een telefooncentrale helemaal geen oproepen meer succesvol afwerkt. Om dat te voorkomen wordt meestal een bovenlimiet gesteld aan het aantal klanten dat gelijktijdig in het systeem wordt toegelaten, en die men direct een kiestoorn laat horen. Men beperkt dus het aantal klanten, om hen een betere service te kunnen bieden. Het bepalen van die bovenlimiet gebeurt met behulp van wachtrijtheorie. In Nederland worden dergelijke problemen voor telefooncentrales onder andere bestudeerd door AT&T te Hilversum, in samenwerking met het CWI.

Communicatiesatellieten kunnen we eigenlijk beschouwen als 36 000 km hoge steunzen-

ders zonder paal. Die satellieten hangen op die speciale hoogte, omdat ze dan precies 24 uur nodig hebben voor een omwenteling om de aarde. Als de baan van de satelliet precies boven de evenaar loopt, betekent dit, dat de satelliet stil hangt ten opzichte van de aarde (geostationair) doordat de aarde ook in 24 uur eenmaal om haar as draait.

Communicatie via satellieten is duur. Daarom streeft men ernaar de beschikbare capaciteit van een satelliet zo efficiënt mogelijk te benutten. De wachtrijtheorie is daarbij een belangrijk hulpmiddel. In een wachtrijformulering kan de satelliet gezien worden als de bediende en de grondstations als klanten. Als twee grondstations tegelijkertijd zenden, kunnen er botsingen optreden en berichten verloren gaan. Er moeten dus weer protocollen worden opgesteld om de beschikbare zendtijd te verdelen. De situatie is hier echter wat anders dan bij het in de vorige paragraaf besproken 'token-passing schema', omdat de stations niet aan elkaar gekoppeld zijn. Een voordeel is wel dat stations hun eigen boodschappen kunnen 'horen' en dus weten of iets zonder botsin-

gen verzonden is. Eén van de eerste bij dit soort verbindingen gebruikte protocollen is het ALOHA-protocol; zo genoemd omdat dit voor het eerst gebruikt werd bij een radionetwerk op Hawaii. Het Hawaïaanse 'aloha' betekent zoets als 'hallo'. Bij dit protocol zendt men als men wat te zenden heeft; als er een botsing plaatsvindt wacht men een random tijd en zendt dan opnieuw. Er kan bewezen worden dat het ALOHA-schema in deze vorm ten slotte altijd in een deadlock resulteert: er zijn steeds botsingen en het aantal succesvol verwerkte boodschappen per seconde gaat naar nul. Er zijn echter schema's gebaseerd op het ALOHA-protocol waarbij de *gemiddelde* tijd totdat zo'n deadlock plaats vindt, een paar miljoen jaar is, ruim voldoende voor de praktijk. Zo zijn er allerlei soorten protocollen bedacht voor satellietverbindingen; de wachtrijtheorie kan deze protocollen op hun prestaties beoordelen en aangeven hoe systeemparameters gekozen moeten worden om optimale resultaten te verkrijgen.

### Produktiesystemen

Produktie-automatisering is een relatief nieuw gebied, dat de laatste jaren sterk in de belangstelling staat. We hebben allemaal wel eens foto's van zo'n volledig geautomatiseerde produktiehal gezien, waar onbemande karretjes af en aan rijden zonder ooit in botsing te komen, en lange produktiestraten, met robots bemand, dag en nacht met constante precisie produkten afleveren. Bij het ontwerp van dergelijke systemen kan de wachtrijtheorie haar diensten bewijzen. Bij computergestuurde produktiesystemen (Computerized Manufacturing Systems, CMS) is het wachtrijmodel meestal een netwerk van bedieningscentra (de machines) en klanten (de produkten die een bewerking moeten ondergaan bij één of meer van de machines). Nu wil men enerzijds de bezettingsgraad van de machines zo hoog mogelijk houden, want stilstand levert geen geld op. Anderzijds echter geven hoge bezettingsgraden lange wachttijden voor de 'klanten', wat strijdig is met de wens om de tijd die een produkt nodig heeft om het netwerk te doorlopen zo laag mogelijk te houden. Dit wil men onder meer om tijdig te kunnen ingrijpen als een bepaald produkt een fout vertoont. Het is immers waarschijnlijk dat, als ergens in het net-

werk een machine een fout maakt, de volgende produkten diezelfde fout zullen vertonen. Met het bovenstaande wachtrijmodel kunnen we bezettingsgraden en doorlooptijden bij een gegeven aanbod van produkten aan het netwerk uitrekenen. De ontwerpers van zo'n netwerk zullen daarna het juiste midden moeten zien te vinden tussen bezettingsgraden en doorlooptijden.

Bij flexibele produktiesystemen (Flexible Manufacturing Systems, FMS) kunnen de ingezette machines meerdere taken aan. Dat maakt de zaken op wachtrijgebied een stuk ingewikkelder. Het maakt echter wel zoets als *just-in-time (JIT)* produceren mogelijk: hierbij wordt met het produceren van een bepaald produkt gewacht tot er ook werkelijk een order voor binnen is. Men hoeft nu geen grote voorraden aan te leggen en kan slagvaardiger optreden.

Zo zagen we hoe met dezelfde soort formules en modellen uitstekend de gewenste capaciteit van uiteenlopende systemen is te berekenen, wanneer tenminste de theorie zich even snel ontwikkelt als de praktijk. Daar schort het nog wel eens aan. Maar al te vaak loopt men in de praktijk vast, doordat men nieuwe technieken al toepast voor de theorie voldoende ontwikkeld is. Denk maar aan de files en de op bepaalde plaatsen verstopte telefoonnetten.

### Literatuur

- Kleinrock L. in : Performance Models for Distributed Systems. In: Teletraffic Analysis and Computer Performance Evaluation, Rapportage van een internationale conferentie, juni 1986.
- Telecommunication, IBM Nederland, Amsterdam 1983. Introduction to Local Area Networks, Digital 1982.
- Cohen JW.: De betekenis van de wachttijdtheorie voor het ontwerp en het gebruik van computers en computer-bestuurde systemen. Informatie 1974: pag. 636-704.
- Cohen JW en Boxma O.J.: A survey of the evolution of queueing theory. Statistica Neerlandica 1985: 39; 143-158.
- Thijms HC.: Rekenschap in de stochastische besliskunde. Inaugurele rede Vrije Universiteit Amsterdam, januari 1981.
- Netwerken voor Datacommunicatie, IBM Nederland, Amsterdam augustus 1987 (3<sup>e</sup> druk).

### Bronvermelding Illustraties

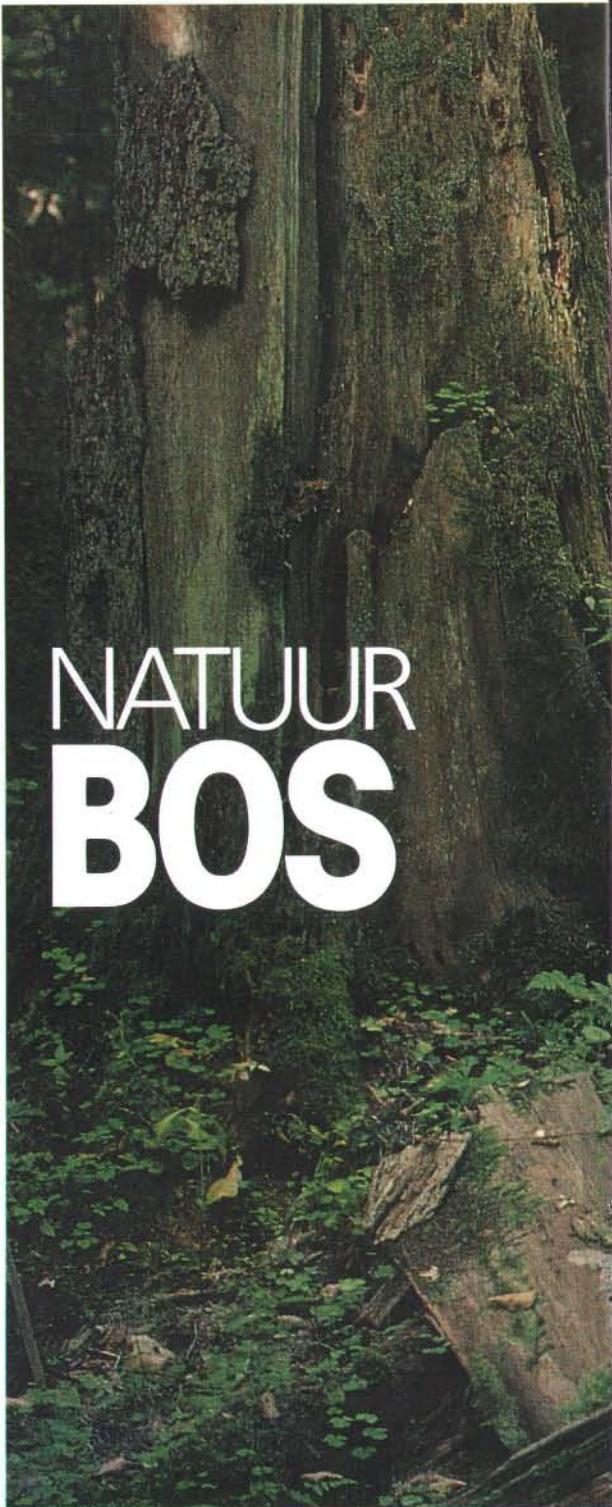
- Aerofoto Bart Hofmeester, Rotterdam: pag. 916-917
- IBM, Amsterdam: 1
- Paul Mellaart, Maastricht: 2
- Rijkspolitie, Driebergen: 4
- Volvo Car BV, Born: 6, 7, 8, 9
- AT&T Philips, Hilversum: 10

**Hans E. van der Lans**  
*Europlan  
Groningen*

**Gerben Poortinga**  
*Eenrum*

## Het oerwoud van de toekomst

Van ouds beschouwen eigenaars en beheerders bos als een houtproducerend bedrijf, maar ook als natuurgebied, geschikt voor jacht en recreatie. Het bos zou deze functies tegelijkertijd kunnen vervullen. In de Europese bosbouw wordt dit tegenwoordig aangeduid met de term multifunctioneel bos. Inmiddels heeft de voortschrijdende kennis van de ecologie het idee van multifunctioneel bos in diskrediet gebracht. Duidelijk werd dat produktiefuncties de waarde voor het natuurbehoud verwaarloosbaar klein maken. Anderzijds maakt natuurbescherming als doelstelling rationele houtproduktie onmogelijk.



**NATUUR  
BOS**

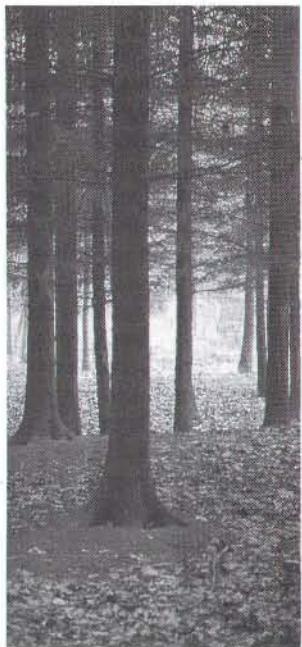


De huidige bosbouw is een zeer systematisch bedrijf. In bijna alle bosbedrijven wordt gestreefd naar het zogenaamde 'normale' bos, dat een gelijkmatig verdeelde leeftijdsopbouw heeft. Elk jaar kan in een dergelijk bos een gelijke hoeveelheid hout geoogst worden. Oogst men bijvoorbeeld een houtsoort na zestig jaar, dan zou men zestig percelen moeten hebben. Elk jaar wordt dan het oudste perceel geoogst en herplant. In de praktijk is een dergelijke opbouw alleen een na te streven ideaal. De meeste boswachterijen zijn jong en in hun geheel in korte tijd ingeplant. De realisering van een normale structuur duurt dan heel lang en wordt in de praktijk bovendien gestoord door branden en epidemieën.

De rationele bosbouw heeft, niettegenstaande de onbereikbaarheid van het normideaal, geleid tot uniformering van de bosstructuur. In grote lijnen verloopt het houtteeltkundige beheer als volgt. De bomen, snelgroeiente hoogproductieve kweekprodukten van buitenlandse afkomst, worden vrijwel uitsluitend percelsgewijs aangeplant. De daaropvolgende bosverzorging, zoals inboeten, dunnen, opkronen en het verwijderen van zieke of afwijkende exemplaren, houdt ook de eenvormige structuur in stand. Tussen de jonge aanplant ontwikkelt zich – voorzover ze niet bestreden wordt – een storingsvegetatie van ruige kruiden en opslag van inheemse bomen. Dergelijke stadia kunnen heel vogelijk zijn. Als de verzorgde aanplant groeit en de kronen zich sluiten verdwijnt deze vegetatie weer. Daarna rest in de schaduw van het dichte boombestand een soortenarme en schrale ondergrond. Deze is arm aan wild en vogels. Na de kap wordt de bodem bewerkt en begint de hele cyclus opnieuw. In principe verschilt een dergelijk bos niet van een graanveld. Ook daar ontwikkelt zich als ondergrond een gezelschap akkeronkruiden met bijhorende fauna. Die levensgemeenschap kan zich rijk ontwikkelen of intensief bestreden worden. Het verschil zit hem alleen in de lengte van de oogstcyclus.

De structuur die we nu in de meeste Europese multifunctionele bossen kennen, met monocultures, grote groepen gelijkjarige bomen en kapvlakten, komt van nature niet in ons milde klimaat voor. Het huidige bosbeeld hoort veel eer bij de extreme klimaten van de bergen en de Scandinavische bossen. Waar in de Alpen bepaalde hellingen frequent door lawines wor-

1. Produktiebos biedt meestal een eenotonige blik. Bomen van dezelfde jaarklasse staan zo dicht bij elkaar dat ze nog net genoeg licht hebben om te kunnen overleven. Het gesloten kronendek dat zo ontstaat belemmert iedere kruidenvegetatie op de bosbodem. Ook dieren voelen zich niet aangetrokken tot dit soort bossen.



1

den geschoond verdwijnen de sparren en treedt de Europese larix op als pionier. Bos op die lauwinebanen is van nature even eensoortig en gelijkjarig als multifunctioneel bos.

#### Vier overlappende tijdvlekken

Vier historische perioden zijn van belang voor de bosontwikkeling in onze streken.

De belangrijkste is ontegenzeglijk de lange periode voor de laatste ijstijd. In die miljoenen jaren ontstonden in gemeenschappelijke evolutie de soorten van het bos: de bomen, planten en dieren; alle aan elkaar aangepast. De paar duizend jaar na de laatste ijstijd is te kort om nog belangrijke evolutionaire ontwikkelingen te laten zien.

Als tweede periode kan men de tijd beschouwen waarin door het verschuiven van klimaat en vegetatiezones het bos in ons land terugkeerde. In relatief korte tijd schoven diverse vegetatiegordels, van toendra tot loofbos, over ons land. Doordat het tempo van deze snelle verschuivingen gehinderd werd door de bergketens in zuidelijker streken, keerde het bos sterk verarmd aan soorten terug. Een aantal planten en dieren bleek uitgestorven of niet te-



rug te keren. Dit proces is overigens nog aan de gang.

Al vroeg na de ijstijd, grotendeels samenvallend met de vorige periode, zou men een derde historisch belangrijk tijdvak kunnen laten beginnen. Het tijdvak waarin de invloed op en de exploitatie van het bos door de mens steeds belangrijker wordt. Mogelijk belemmerde die exploitatie al zeer vroeg de terugkeer van het bos in zijn vorm van voor de ijstijden.

Het vierde te onderscheiden tijdvak, dat in de Middeleeuwen begint, is de periode waarin exploiteerbaar natuurbos schaars is geworden en waarin de bosbouw zich ontwikkelt.

In Nederland en België is sedert de kap van het Beekbergse oerbos in de vorige eeuw geen oorspronkelijk natuurbos meer over. De tegenwoordige spontane bosvorming in veengebieden en op heidevelden heeft weinig van doen met het proces van bosvorming in oertijden. Hoogstens kan een aantal duinstruwelen, zoals de soortenrijke eikenbosjes in de binnenduinen van Schiermonnikoog, nog natuurlijk worden genoemd. Deze schrale bosjes zijn echter geen eigentijds equivalent voor de veelderige gevarieerde bossen die Holland (lees: Holtland of Bosland) haar naam schonken.

### **Wat is natuurbos?**

Het postglaciale natuurlijke milieu moet in de delta van de grote rivieren en de geologisch oudere en hogere gronden een enorme variatie hebben gekend. Het is daarom niet reëel te verwachten dat tot in detail achterhaald kan worden hoe in elke lokale situatie de levensgemeenschap van het bos was opgebouwd. Niettemin is op grond van biologisch-archeologisch onderzoek een steeds herkenbaarder patroon te schetsen van de oorspronkelijke vegetatiesamenstelling. Er is een duidelijk patroon van bosontwikkeling op bepaalde bodems onder invloed van klimaatschommelingen en landbouwkundige exploitatie.

De structuur van de bossen is het moeilijkst te achterhalen. Was deze zeer dicht, of zorgen omgevallen bomen en begrazing voor meer openheid? Voor de ontwikkeling van visies op een meer natuurlijk bosbeheer is het belangrijk om de natuurlijke structuur van bossen te kennen en vooral de processen die daaraan ten grondslag liggen.

Onder stabiele omstandigheden evolueren loofbossen tot zeer complexe en dynamische levensgemeenschappen. Deze rijke gemeenschap is afhankelijk van de geweldige hoeveelheid zonne-energie die de bomen vastleggen. De soortenrijkdom is tevens afhankelijk van de beschikbaarheid van talrijke verschillende vegetatiestructuren binnen een klein territorium, omdat veel planten en dieren juist floreren op de grenzen tussen vegetatiestructuren. In zelfregulerende loofbossen ontstaat, heel anders dan in produktiebos, een kleinschalige afwisseling tussen oudere boomgroepen en groepen jonge bomen. Zelfs als het aantal soorten bomen en struiken vrij beperkt is, is de variatie eindeloos. Die ontstaat vooral door de grote leeftijdsverschillen tussen exemplaren van dezelfde soort op een beperkt gebied.

Een heel belangrijke fase die in het produktiebos uiteraard ontbreekt is die van sterren en afbraak. Dan komt de geweldige hoeveelheid energie, opgeslagen in stamhout en lijken van het grootwild beschikbaar voor een legioen van secundaire consumenten.

Een belangrijk ander probleem bij het begrip natuurbos is de vraag in welke mate begrazing plaatsvond en wanneer grote grazers als paarden, oerossen en elanden hun intrede deden.



2



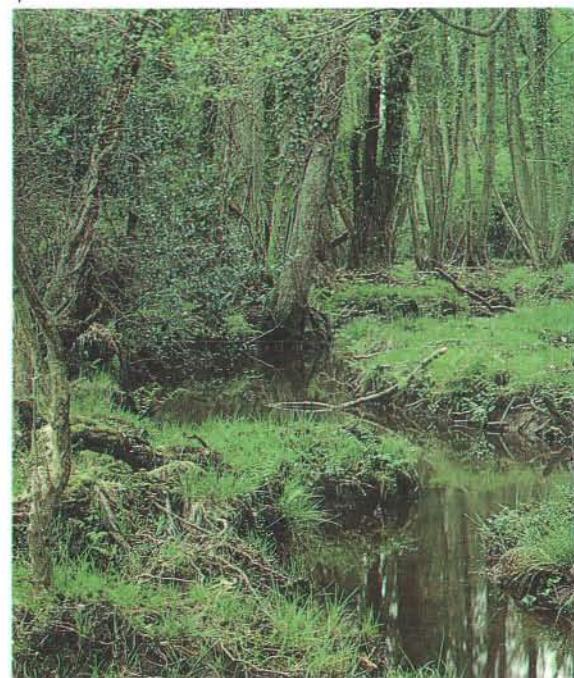
3

In natuurlijke loofbossen vindt verjonging op veel kleinere schaal plaats dan in het normale bosbedrijf. Waar een boom sterft kan deze tenslotte omvallen en een klein gat in het kronendak slaan. Wind en storm kunnen dit gat groter maken. Bij een zware graasdruk kan een open plek lange tijd vrij van boomopslag blijven, maar uiteindelijk zal het kroondek weer door jonge bomen gesloten worden. Zo ontstaat een kleinschalig gevarieerd bos met vele soorten en leeftijdsklassen.

Sommige archeologen veronderstellen dat ten tijde van de eerste landbouwende volken uitgestrekte gesloten linden-eikenbossen in West-Europa domineerden. Door de gesloten structuur zou het aantal grote grazers betrekkelijk laag zijn gebleven. Door de lage wilddichtheid zouden de dichte oerbossen weinig geschikt zijn voor menselijke bewoning. Pas toen de landbouwende mens open plekken in de bossen kapte en brandde nam ook de wilddichtheid toe en daarmee de potentie van het bos als jachtgebied. Andere bio-archeologen beweren dat het ongerepte bos juist erg geschikt was voor begrazing door runderen. Het huisvee moet dan al vroeg geconcurrererd hebben met het grazend wild. Het natuurbos levert bovendien een enorme hoeveelheid bijprodukten als lindehonning, eikels en fruit. Wel zeker is dat grote grazers een belangrijke component van de boslevensgemeenschap zijn, die in produktiebossen volledig ontbreekt.

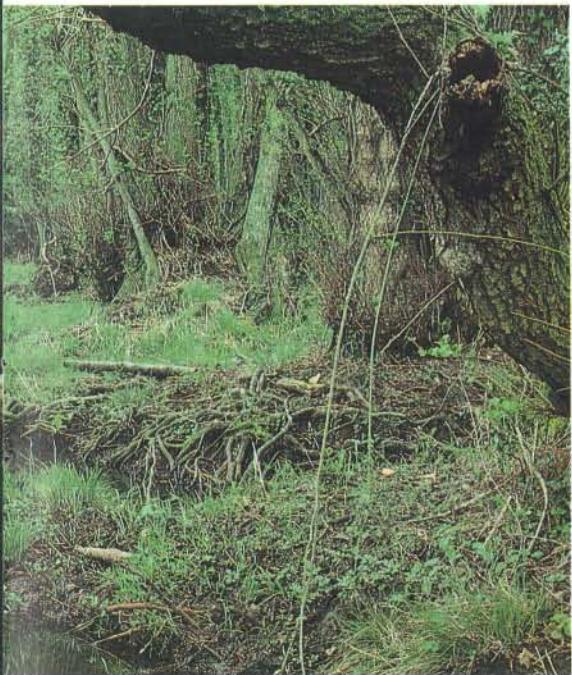
2, 3 en 4. Natuurbos kan er heel verschillend uitzien. Er kan veel open ruimte zijn, die ook open blijft door begrazing. Vaak zijn er dan ondoordringbare bossages met struikgewas, waar de grazers niet meer inkomen en waar bomen ongestoord kunnen groeien (3). In vochtig bos met veel opschietende jonge bomen vinden we dikwijls een

4





uitgebreide onderbegroeiing. Er staan vaak vooral soorten die in het voorjaar bloeien, voor het bladerdek veel licht wegneemt (4). In oud natuurbos, hier een opname uit het Duitse Neuenburger Urwalt (5), kunnen oude woudreuzen hun omgeving domineren. Op de bosweide ligt het kadaver van een ree.



De lokale soortensamenstelling en leeftijdsopbouw van het bomenbestand in de oorspronkelijke bossen werd onder meer beïnvloed door de bodemvruchtbaarheid, de stand van het grondwater en de graasdruk. Op droge gronden domineren eiken, linden en iepen; op natte gronden elzen, wilgen en essen. Bij een hoge graasdruk werden lichtminnende en vraatverdragende soorten zoals eiken bevoordeeld. Als de graasdruk laag werd waren schaduwverdragende soorten als beuk en haagbeuk in het voordeel. Hierna zullen we enkele karakteristieke bestanddelen van het natuurbos onder de loupe nemen.

#### *Dood hout*

Tot voor kort had de natuurbescherming weinig oog voor het nut van bomen die kwijnen, sterven en worden afgebroken. Juist bij die afbraak komt er een massa opgespaarde energie en mineralen vrij voor legers houtverterende insecten, talloze paddestoeLEN en voor een onbekend aantal micro-organismen. Insecten worden op hun beurt weer gegeten door vogels. Op dood hout zijn spechten de opvallendste insecteneters.

Het dode hout vervult ook nog een aantal andere belangrijke functies. Het vormt door zijn chemische structuur en de aanwezigheid van nitrificerende en denitrificerende micro-organismen een belangrijke stikstofbuffer in perioden van overschot en tekort. Nog staande, kwijnende en dode bomen zijn belangrijk voor broedende vogels en voor vleermuizen. Liggend vormen ze een kiembed voor tal van planten en bomen. Bij het omvallen ontstaan wortelkuilen en wortelkluiten. In de kuilen vormen zich vaak poelen die geschikt zijn voor insectenlarven en vele amfibieën, bijvoorbeeld de vuursalamander. In de kluiten vinden kleine zoogdieren een droge woonplaats. Vossen en dassen beginnen hun burchtenbouw meestal onder wortelkluiten.

#### *Begrazing*

In ons klimaat vinden we op bijna alle gronden de tendens tot bosvorming. Het gevecht van natuurbeschermers tegen dichtgroeiente heide is overbekend. Ook aan hun lot overgelaten kapvlaktes, akkers en weilanden vertonen na kortere of langere tijd spontane bosopslag. Dergelijke pionierende bosbegroeiingen kunnen zich ontwikkelen tot volwassen bos. Zon-



5

der differentiërende beheersmaatregelen zou spontane successie onder de huidige omstandigheden leiden tot vrij monotone bosvegetaties. Ook in de oernatuurlijke bossen zou zonder begrazing elke open plek binnen enkele jaren met bomen dichtgroeien. Begrazing kan dit proces echter vertragen en lokaal zelfs stoppen.

Oeros, paard en eland zijn al sedert mensheugenis uit het natuurbos verdwenen. Toch zijn het deze echte grazers die de bulk van grassen en kruiden kunnen verteren, grotere takken kunnen eten en in de winter door het aanvreten van de bast van jonge bomen de bosstructuur kunnen beïnvloeden. Het klinkt vreemd, maar grote grazers begunstigen de bestaansmogelijkheden van kleine grazers. Op de opengehouden plekken in het bos groeien jonge grassen en kruiden; het vele snoeiwerk doet de massa eetbaar loof op vraathoogte toenemen.

In de multifunctionele bossen grazen eigenlijk alleen reeën, hazen en konijnen. Deze dieren hebben relatief vezelarm en eiwitrijk voed-

6



5. Verval en afbraak zijn een onmisbaar onderdeel van het ecosysteem in een natuurbos.

6. Paddestoelen leven vaak op dode of stervende planten. Vele van deze hogere schimmels verteren dood hout. Ze doen dat zo effectief dat celulosesplitsende enzymen uit paddestoelen tegenwoordig onderzocht worden op industriële bruikbaarheid.

7. Een schematisch overzicht van een begraasd natuurbos met open plekken.

sel nodig, zoals jong gras, jonge bladeren, twijgen en jonge bast. Alleen onder bijzondere omstandigheden kunnen deze dieren de boomgroei echter remmen. Ze zijn niet in staat om de opschietende bomen kort te houden en het bos groeit hen letterlijk en snel boven het hoofd. Edelherten zijn wat dat betreft meer mans. Door bejaging zijn ze echter schuw en komen vrijwel alleen voor in rustgebieden. Daar zijn de concentraties dan weer zo groot dat eerder sprake is van schade aan de aanplant dan van een natuurlijke graasdruk.

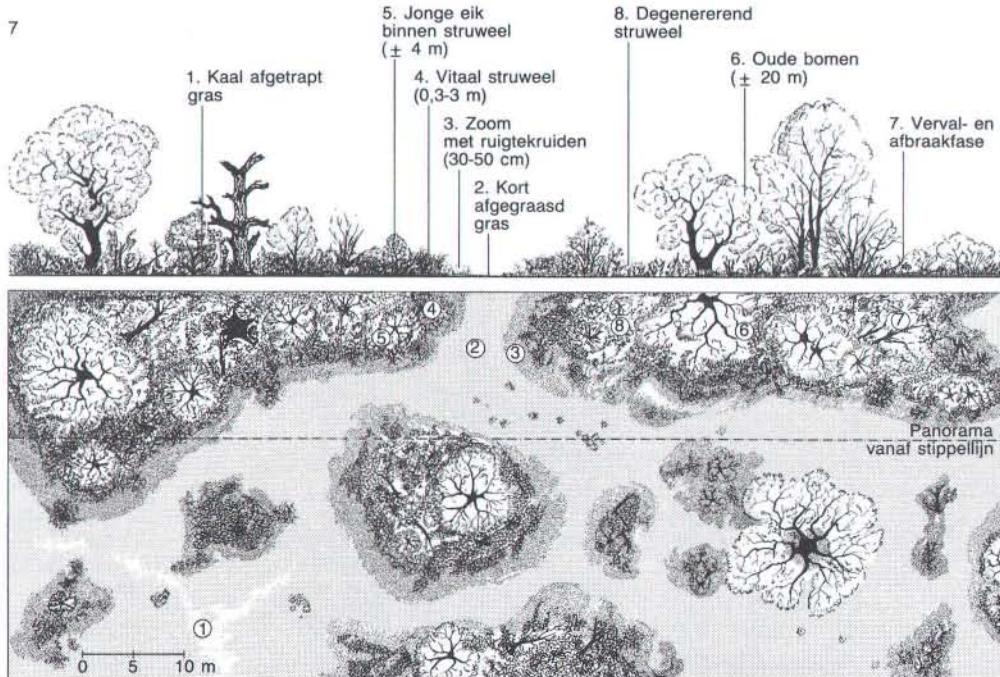
De wisent neemt in de discussie over het her invoeren van grote grazers een aparte plaats in. Nooit is bewezen dat dit dier na de laatste ijstijd nog in onze contreien in het bos voorkwam. Toch vindt een aantal ecologen dat dit dier onder de huidige omstandigheden een belangrijk aandeel zou kunnen hebben in het natuurlijk bos. De wisent is namelijk een takkenbasteter bij uitstek.

#### Mantel en zoom

Boomsterfte en begrazing leiden tot differentiatie in de bosstructuur waarbij veel overgangssituaties aanwezig zijn. Op de grens van door

begrazing gestabiliseerde open plekken en gesloten boomgroepen vinden we de zogenaamde zoom- en mantelvegetaties. Hier groeien graasbestendige stekelstruiken als meidoorn, sleedoorn, braam, egelantier, hondsroos en kraagroos. Verder biedt deze rand onder meer plaats aan vlier, wegemoor, wilde kardinaalmuts, rode kornoelje, Gelderse roos, Spaanse aak en mispel.

De samenstelling van de overgangsgemeenschap is sterk afhankelijk van de blootstelling aan de overheersende wind, de bezetting, de grondsoort en de graasdruk. Op schrale bodems is de bosmantel relatief slecht ontwikkeld. In de bescherming van de mantel groeien tal van kruiden die halfschaduw en een mild klimaat behoeven. Voor tal van vogels en insecten zijn deze randzones essentieel voor hun verschillende levensbehoeften. Het grootste deel van onze dagvlinders kan niet zonder de randzones. Juist hier staan immers veel bloeiende planten en besdragers. Het nagenoeg ontbreken van mantel- en zoomvegetaties in onze landschappen en natuurerreinen is er de oorzaak van dat vele soorten met uitsterven worden bedreigd.

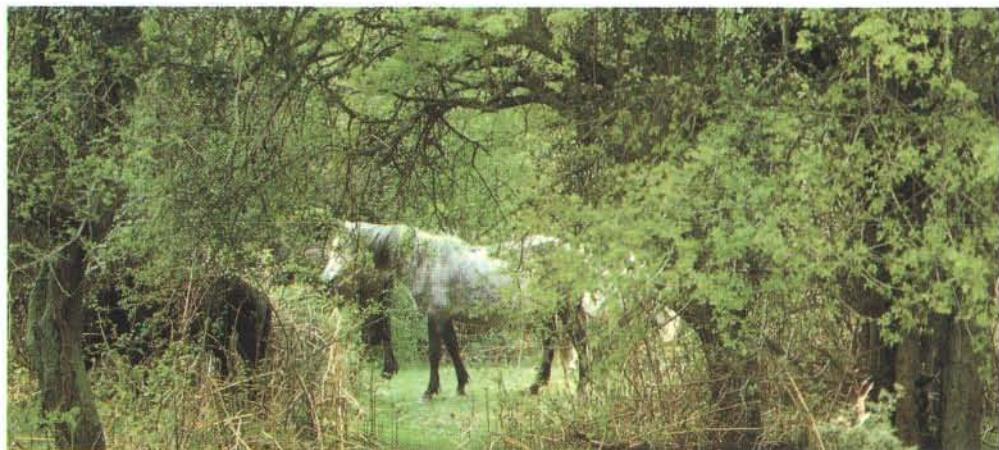


### Van produktie- naar natuurbos

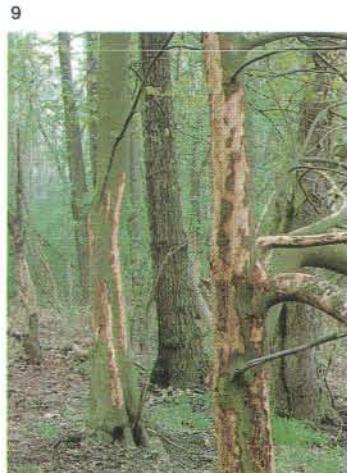
Een natuurbos, zo zal nu duidelijk zijn, heeft geen eenduidige structuur maar is sterk aan veranderingen onderhevig. Soorten kunnen opkomen en weer verdwijnen. Zonnige open plekken raken langzaam weer overschaduwde door het zich sluitende bladerdek. Het natuurbos is een boeiende verzameling van ecologische processen die in elkaar grijpen en elkaar beïnvloeden. Deze processen zijn in de meest letterlijke zin van het woord universeel: ze verlopen op de polen maar ook in het Amazonegebied, evengoed met onze Europese zoogdieren als met Zuidamerikaanse buideldieren. De

milieuomstandigheden en de samenstellende planten- en dierenwereld bepalen welke processen snel of traag verlopen. Ondanks de overeenkomst in de processen ziet natuurbos er toch steeds weer anders uit. Dat komt doordat wij mensen vaak alleen de telkens weer unieke bouwstenen waarnemen: de eik, de eekhoorn of de Vlaamse gaai, de papegaai, de tijger of de giraffe. We zien ontelbaar veel soorten planten en dieren. Hoe beter we kijken hoe overweldigender het wordt.

Hoewel we alle samenstellende soorten nooit zullen kennen, is natuurbeheer eigenlijk maar een gemakkelijk vak. We behoeven slechts de juiste bouwstenen te zoeken,



8



9



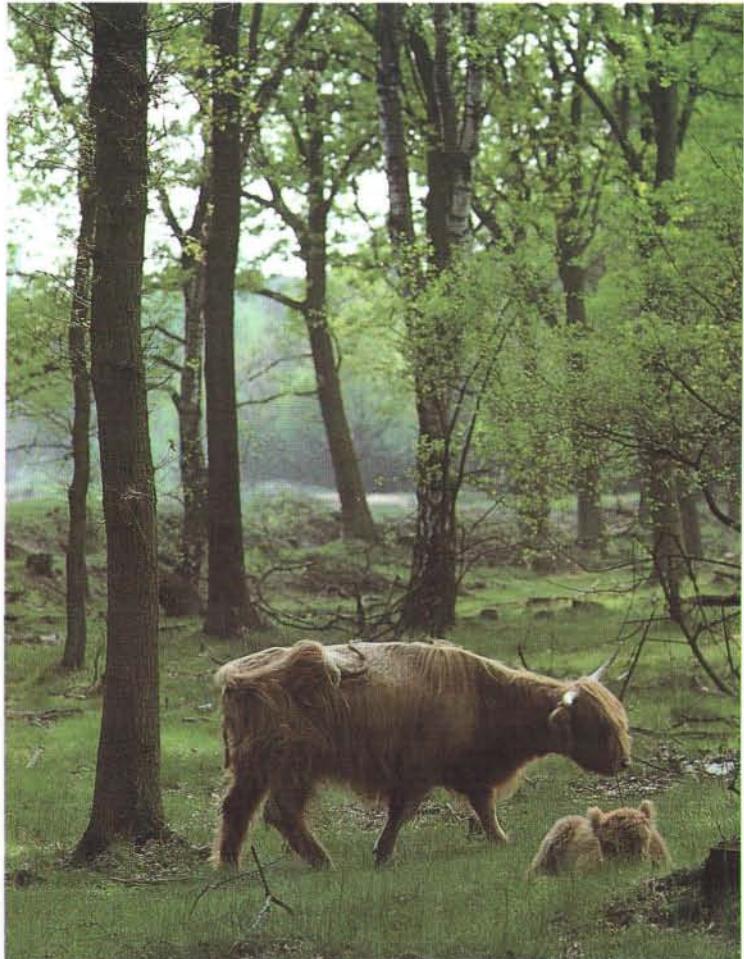
10

8. Paarden, vooral de rassen die nog weinig gedomesticeerd zijn, zoals tarpanen of koniks, blijken zich goed te handhaven als begrazers van boslandschappen.

9. Grote grazers schillen jonge bomen die daardoor afsterven. Zo houden ze open plekken in stand, waar kruiden en struiken een kans krijgen.

10. Wilde zwijnen behoren weliswaar tot de autochtone Nederlandse bosbewoners, maar worden tegenwoordig nog slechts op de Veluwe aangetroffen. Ze worden daar meest bijgevoerd om de aantallen kunstmatig hoog te houden ten behoeve van de jacht. Als bodemwroeters hebben ze in een lage dichtheid een functie in het gevarieerd houden van het bos.

11. Schotse Hooglanders begrazen, bij wijze van proef, een groot stuk dennenbos op de Veluwse Imbosch, tussen Apeldoorn en Arnhem. Deze gedomesticeerde soort is geselecteerd omdat ze zomer en winter buiten kunnen blijven en de meest vervilte grasmat van bochtige smalle oproeiuren. Het gebied blijft toegankelijk voor wandelaars; de Hooglanders zien er wel vervaarlijk uit, maar doen geen mens kwaad.



11

bouwstenen die bij de lokale omstandigheden passen, en die bij elkaar te brengen. Dan nog een terrein dat groot genoeg is, en ... de natuur herneemt haar loop; de processen komen op gang. Daarbij krijgen spontane herstelprocessen een kans. Logischerwijze moet dan tevens een meer natuurlijke bosstructuur ontstaan. Het resultaat is natuurbos dat weliswaar niet het volledige equivalent is van het vroege oerbos, maar het zal zich er weinig van onderscheiden, bovendien past het zich aan de tegenwoordige omstandigheden aan. De doelstelling van *natuurbosbeheer* kunnen we daarom omschrijven als herstel van het zelfregulerende bos.

Wanneer men een produktiebos wil omvor-

men tot natuurbos, kan men zich niet beperken tot het nalaten van de houtoogst en het instellen van een beheer van 'nietsdoen'. Bij de omschakeling moeten we de natuur een handje helpen. In een produktiebos is bijvoorbeeld geen sprake van een natuurlijk lokaal gevarieerd verschijnen en verdwijnen van soorten. Per perceel zijn bomen aangeplant uit een willekeurig stadium van bosontwikkeling. Door de verzorging zijn deze uniform ontwikkeld. Een dergelijke massa bomen kan zich zeer lang handhaven en elke ontwikkeling voorkomen. Pas na jaren zal zo'n bos van ouderdom grootschalig aftakelen. Dergelijke processen leiden niet vanzelf tot een snelle ontwikkeling van natuurbos. Als we dat willen blijft de vraag op

welke beginselen het beheer dan wel gebaseerd moet zijn. Ze kunnen worden afgeleid uit de processen die zich in natuurlijke bossen afspeLEN, maar in de cultuurbossen onmogelijk werden gemaakt.

### Het bosbeheer

De tegenwoordige bosbouwer houdt met een aantal cultuurtechnische maatregelen als kap, dunning, houtoogst, aanplant en 'onkruid'-bestrijding zijn bos bewust hoogproductief. Spontane processen zoals concurrentie, ziekte, sterfte, natuurlijke verjonging, soortafwisseling en patroonvorming worden daarbij uitgeschakeld. Dit beleid beoogt een grote houtoogst, maar brengt soortenarmoede met zich mee. Bovendien ontstaat zo het gevaar van grootschalige catastrofes.

Met een aantal varianten op de gebruikelijke bosbouwtechnieken kan men bewust de natuurlijke processen weer op gang helpen.

In een natuurlijk bosecosysteem waaien bijvoorbeeld regelmatig bomen om. Door deze *windworp* valt ter plaatse een gat in het kronendak, maar de omgevallen bomen blijven liggen. Een windworpplek ontwikkelt zich dan ook heel anders en veel natuurlijker dan een open plek van dezelfde grootte in een cultuurbos waar de bomen zijn afgezaagd en de stammen en takken zijn opgeruimd. Bovendien komt hier het proces van de afbraak van het stervende hout op gang. Het systeem 'weet' hoe te reageren. Door nu in een cultuurbos pleksgewijs bomen zelf om te trekken en deze te laten liggen zoals ze gevallen zijn, sluit men met de beheertechniek aan bij een natuurlijk proces. Er wordt door de keuze voor het omtrekken en laten liggen van bomen een gebeurtenis gesimuleerd die had kunnen plaatsvinden als er toevallig een storm was langsgeraasd. De schaal waarop de maatregel wordt uitgevoerd kan het beste worden afgekeken van diezelfde natuur. In natuurlijke bossen blijkt de spontane verjonging op grote opengevallen plekken anders te verlopen dan op kleine open plaatsen, ook al komen de plaatsen verder overeen. We moeten daarom bedenken hoe groot een opengemaakte plek minimaal moet zijn. Op een kleine plek reageert het bos onvoldoende; er gebeurt te weinig. Komen we boven bepaalde afmetingen, dan verdwijnt het bosmicroklimaat en komt het voortbestaan van het bos in

12, 13. Bij het omvormen van een produktiebos tot natuurbos kan de beheerder de natuur het best een handje helpen. Het omtrekken van bomen uit de monoculture is een goed begin. Er ontstaan dan open plekken waar andere soorten een kans krijgen. Ook op de omgetrokken dode bomen vestigen zich vele nieuwe soorten. Bij het omtrekken werd in dit geval een motorlijer gebruikt.

13

12



gevaar. Met het omtrekken van bomen wordt beoogd het bos tot een reactie te prikkelen en niet om natuurbos 'na te maken'.

In een natuurlijk bos komen veel soorten door elkaar voor. Daarbij is er een grote variatie aan leeftijd en vormrijkdom, ook binnen soorten. Denk maar aan grote majestueuze eiken tegenover verdrukte kwijnende soortgenoten. Wanneer men door een gevarieerde greep in de kroonlaag de aanwezige maar meestal kleine verschillen in de boomlaag ac-





centueert, stuurt men het bos naar een natuurlijke variatie. Door een zogenaamde *onregelmatige dunning* wordt de variatie aan boomsoorten, boomvormen en de leeftijdsverdeling bevorderd. Ook de kroonsluiting wordt doorbroken zodat de bodem hier en daar weer aan het zonlicht wordt blootgesteld, met alle gevolgen van dien voor de kruidengroei. In het algemeen zullen de bomen met 'gemiddelde' kenmerken verwijderd worden. De grootste, maar ook de meest kromme of knoestige exemplaren blijven gespaard. Ook kunnen bijzondere exemplaren of groepjes van bijvoorbeeld struiken zoals *taxus* of *hulst* worden vrijgesteld. De keuze tussen inheemse en uitheemse exemplaren valt meestal ten gunste van de eerste uit, ook al zijn deze krom of weggedrukt. Bij een *onregelmatige dunning* gaat de ruimte die vrijkomt in de kroonlaag de doorsnee van één keer de boomhoogte meestal niet te boven. Bij *variabele kap* beoogt men dezelfde effecten als bij *onregelmatige dunning*, maar worden ook grotere open plekken gewenst geacht. Net als in natuurlijke bossen zal het hele scala van vele kleine naar enkele grotere open plekken vertegenwoordigd moeten zijn. In het algemeen hoeven de open plekken niet groter te worden dan tweemaal de boomhoogte om het ge-

wenste resultaat te bereiken. De door de ingreep uitgelokte natuurlijke processen reorganiseren hierop het systeem, waarbij opnieuw een grotere rijkdom ontstaat.

De genoemde omvormingsmaatregelen leiden reeds na enkele decennia tot een zeer gevareerd bos. Voor het verdere herstel en het onderhoud van het natuurbos worden tenslotte grote grazers ingeschakeld. Daarvoor zijn echter grote terreinen noodzakelijk. In vele gevallen is extensieve begrazing met runderen en paarden niet mogelijk of weinig praktisch. Men zou dan kunnen overwegen een begrazingsvervangend maairegiem in te voeren. Daarbij worden bepaalde plaatsen in het bos blijvend open gehouden door een gevarieerd kap- en maairegiem, waarbij zich dank zij de openheid zich bosranden, struwelen, zomen en bosweiden kunnen ontwikkelen. Eén en ander is afhankelijk van de gekozen kap- en maaifrequenties en van de grootte van de open ruimten. Eigenlijk imiteert de beheerder door het toepassen van zulke maatregelen de invloeden die grote grazers zouden uitoefenen. Hoe kleinschalig en genuanceerd het beheer ook wordt uitgevoerd, het lukt ons nooit de grazers in hun ecologische effecten te evenaren.

Bij het op een zo natuurlijk mogelijke manier omvormen van bos tot een rijk gestructureerd ecosysteem staan ons dus verschillende beheersmaatregelen ter beschikking. De belangrijkste hebben we reeds besproken, maar daarnaast zijn ook ringen, houtophoping, barrièrevorming en het ontwikkelen van kwijnen- en holle bomen van belang voor de vergroting van de structuurrijkdom en de gewenste natuurlijker ontwikkelingen. In het ideale geval leiden de initiële ingrepen tot de ontwikkeling van een zichzelf regulerend bos.

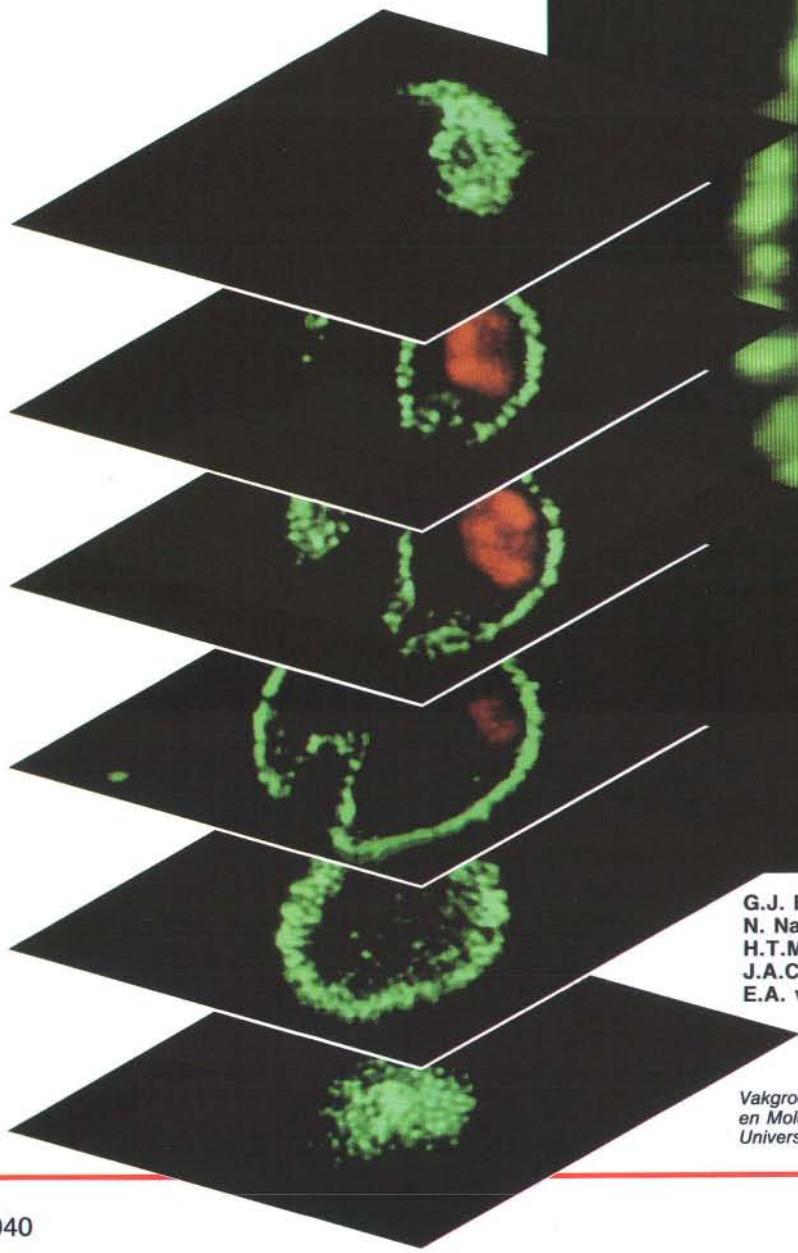
#### Literatuur

Lans, Hans van der en Poortinga, Gerben. Natuurbos in Nederland: een uitdaging. Amsterdam: Instituut voor Natuurbeschermingseducatie, 1987. ISBN 90 70168 09 X.

#### Bronvermelding illustraties

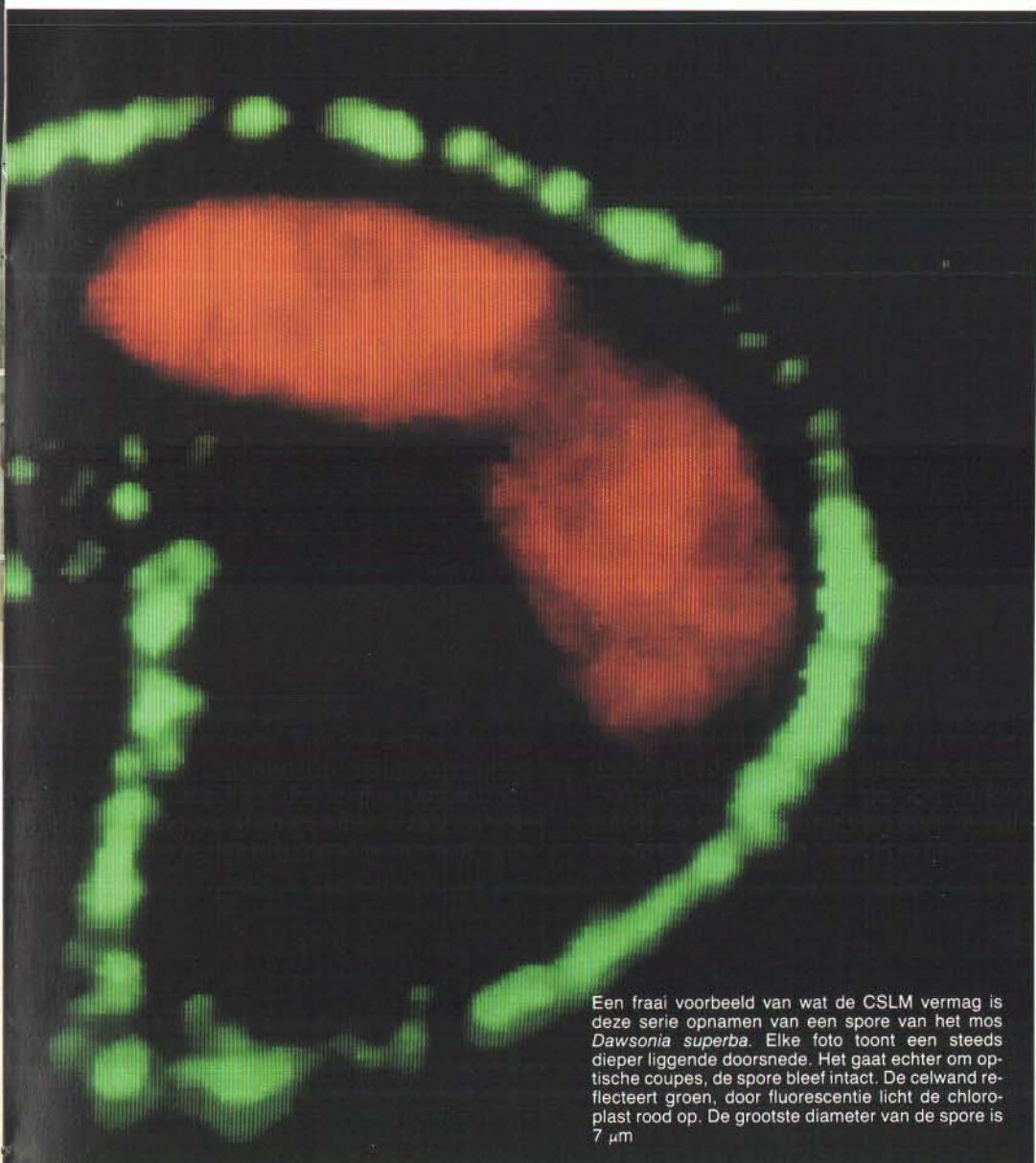
Alle foto's zijn afkomstig van de auteurs.

# CSLM



G.J. Brakenhoff  
N. Nanninga  
H.T.M. van der Voort  
J.A.C. Valkenburg  
E.A. van Spronsen

Vakgroep Elektronenmicroscopie  
en Moleculaire Cytologie  
Universiteit van Amsterdam



Een fraai voorbeeld van wat de CSLM vermag is deze serie opnamen van een spore van het mos *Dawsonia superba*. Elke foto toont een steeds dieper liggende doorsnede. Het gaat echter om optische coupes, de spore bleef intact. De celwand reflecteert groen, door fluorescentie licht de chloroplast rood op. De grootste diameter van de spore is 7  $\mu\text{m}$

Door de opmars van de elektronenmicroscoop is de ontwikkeling van de gewone lichtmicroscoop jarenlang achtergebleven. Ten onrechte als men bedenkt dat aan de elektronenmicroscoop ook heel duidelijke nadelen kleven. Zo moet men altijd watervrij werken en is het erg moeilijk om een ruim-

telijk inzicht in het te onderzoeken object te krijgen. Nieuw ontwikkelde lichtmicroscopische technieken hebben deze nadelen niet en zijn daardoor erg geschikt voor het detailonderzoek aan biologische objecten. In dit artikel wordt de ontwikkeling van één van die nieuwe technieken beschreven.

In de afgelopen decennia heeft de elektronenmicroscoop (EM) de wereld van de microscopie beheerst. Erg wonderlijk was dat niet. Met de EM kunnen immers veel kleinere details aan een object zichtbaar gemaakt worden; het oplossend vermogen van de elektronenmicroscoop is veel groter. Dit apparaat speelt dan ook een zeer belangrijke rol in het hedendaagse onderzoek, niet alleen in de biologische wetenschappen, ook bijvoorbeeld bij de studie van de eigenschappen van materialen.

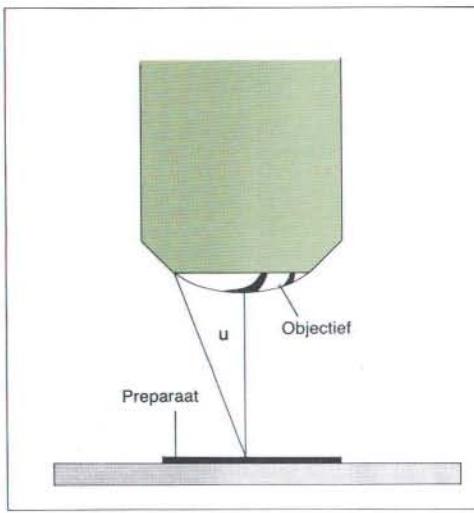
Toch is ook de elektronenmicroscoop geen perfect instrument. Het is bijvoorbeeld zeer moeilijk om op basis van EM-opnamen van een object een indruk van de ruimtelijke structuur te krijgen. Dat lukt alleen als van dunne plakjes van het object afzonderlijke opnamen gemaakt worden, die vervolgens 'op elkaar gestapeld' worden. Daarnaast moet het preparaat dat men wil bekijken altijd in vacuüm gebracht worden. Een consequentie daarvan is, dat het object nooit water mag bevatten. Dat is een handicap voor het onderzoek van biologische objecten, die van nature nu eenmaal rijk zijn aan water.

In ons eigen onderzoek ondervonden we deze nadelen, toen wij het nucleoïd van de darmbacterie *Escherichia coli* wilden bestuderen. Het nucleoïd is wat bij een eukaryote cel de kern zou zijn. Het is het deel van de cel waar het erfelijk materiaal opgeslagen ligt. Het onderscheidt zich van een eukaryote celkern door het ontbreken van een duidelijk kernmembraan. Het nucleoïd is zeer gevoelig voor elektronenmicroscopische prepareermethoden; het gaat gemakkelijk kapot. Anderzijds is het veel te klein om met een conventionele lichtmicroscoop te kunnen waarnemen. We stonden derhalve voor een dilemma, waaruit we konden komen door het oplossend vermogen van de lichtmicroscoop te vergroten. Het resultaat was een geheel nieuw type microscoop, de *confocale scanning laser microscoop* (CSLM).

### Het instrument

Om te kunnen begrijpen hoe de CSLM werkt, moeten we eerst ingaan op het begrip oplossend vermogen.

In de klassieke lichtmicroscopie wordt het oplossend vermogen gedefinieerd als de kleinste afstand tussen twee punten die nog afzonderlijk waargenomen kunnen wor-



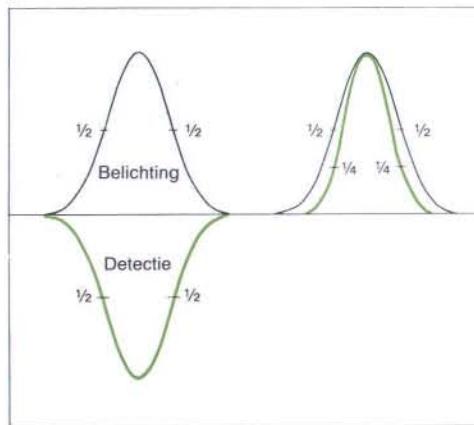
1

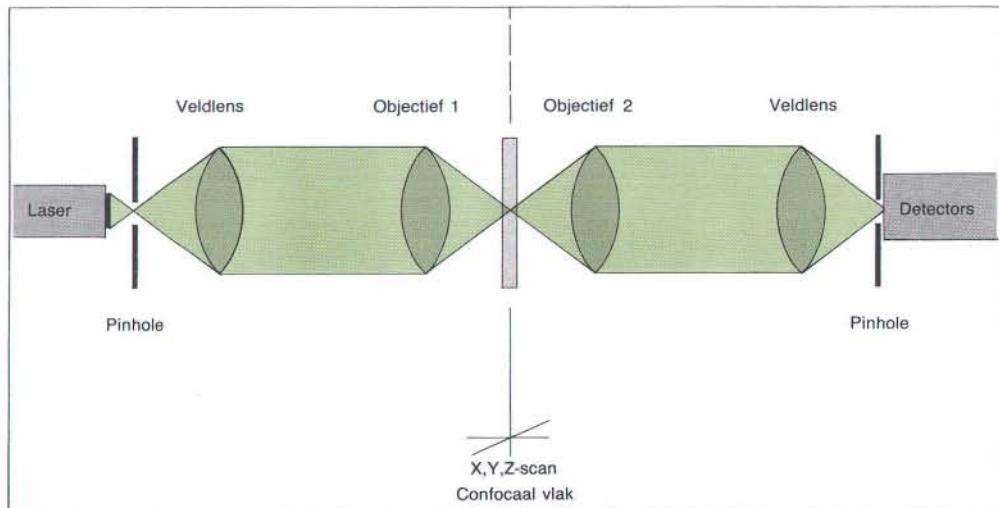
1. Het oplossend vermogen van een conventionele lichtmicroscoop hangt af van de golflengte van het licht en de numerieke aperture van het objectief, die weer mede afhangt van de halve openingshoek  $u$ .

2. Confocale resolutieverbetering. De intensiteitsverdeling (Airyschijf; de nevenmaxima zijn niet getekend) in het confocale vlak van de belichting en de detectie zijn links getekend. Vermenigvuldiging van beide intensiteitsverdelingen geeft een smallere verdeling (rechts). Dit resulteert in een hoger oplossend vermogen.

3. Het laserlicht dat uit de pinhole (links) komt, valt via de veldlens in een evenwijdige bundel op objectief I, de belichtingslens. Objectief II, de collectorenlenzen vangt het licht op en via een tweede veldlens (rechts) en een tweede pinhole komt het op de detector. Objectieven I en II delen hetzelfde brandvlak (confocale opstelling). De scanbeweging (X,Y,Z) vindt in dit brandvlak plaats.

2





3

den. Het wordt gegeven door de formule

$$S = 0,61\lambda/NA$$

waarin de  $\lambda$  de golflengte van het gebruikte licht is en NA de numerieke apertuur van de lens. Deze is weer gelijk aan de brekingsindex  $n$  van het medium waarin het objectief en het voorwerp zich bevinden en de sinus van de halve openingshoek (afb.1):

$$NA = n \sin u$$

In de praktijk zijn grenzen gesteld aan zowel openingshoek als brekingsindex, waardoor het oplossend vermogen van de lichtmicroscoop op zijn best in de buurt van de  $0,25 \mu m$  ligt ( $1 \mu m = 0,001 \text{ mm}$ ).

Dit oplossend vermogen wordt in de CSLM fundamenteel verbeterd door het object te plaatsen in het gezamelijke brandpunt van twee objectieven – vandaar de term *confocaal* (afb. 3), een laser als lichtbron te gebruiken en de laserbundel door een uiterst klein diafragma (pinhole) te leiden. Doordat de pinhole zo klein is wordt de laserbundel erdoor afgebogen. De afbeelding daarvan is een zogenaamde Airyschijf: een heldere lichtvlek met veel zwakkere concentrische ringen daaromheen. De lichtintensiteit in de Airyschijf is weergegeven in afbeelding 2. Het object wordt nu bekeken via een lichtvlekje dat een intensiteitsverdeling heeft als een Airyschijf.

Het beeld wordt vervolgens via een tweede

objectief naar een detector geleid. Omdat daarbij een tweede pinhole wordt gepasseerd ontstaat als het ware een Airyschijf-afbeelding van de eerste Airyschijf. Theoretisch is aangegeven dat in dat geval de curves van afbeelding 2 met elkaar vermenigvuldigd mogen worden. Er ontstaat daardoor een smallere intensiteitsverdeling. Het stukje van het object dat op een gegeven moment wordt bestudeerd, wordt op die manier een veel beter oplossend vermogen gezien dan met een lichtmicroscoop mogelijk is. De precieze waarde van het oplossend vermogen is alleen afhankelijk van de gebruikte golflengte.

### Scannen

Het beeld dat ontstaat is slechts dat van één punt van het object. Om het object als geheel in beeld te krijgen moet het gescand worden. Met andere woorden: punt voor punt moet de lichtintensiteit gemeten worden.

Daartoe wordt het object op een beweegbare tafel gebracht en in kleine stappen door de lichtbundel bewogen. Omdat in deze opstelling het oplossend vermogen circa  $0,14 \mu m$  is, moet de tafel zo zijn afgesteld dat bewegingen in de grootte-orde mogelijk zijn. De door ons geconstrueerde tafel kan verplaatst worden met een nauwkeurigheid van ongeveer  $0,01 \mu m$ .

Omdat in een scannende microscoop het object punt voor punt wordt afgetast, is het

noodzakelijk om de gegevens van ieder punt één voor één op te slaan. Dat gebeurt door een fotomultiplier, een zeer gevoelige fotocel, die het optische signaal omzet in een elektrisch signaal en dit aan een computersysteem doorgeeft. Een belangrijk voordeel van het gebruik van elektronische detectie boven de traditionele detectie (met het menselijk oog of met een camera) is dat de gevoeligheid veel beter is. Een goede fotomultiplier kan afzonderlijke fotonen registreren, iets wat op geen andere manier realiseerbaar is.

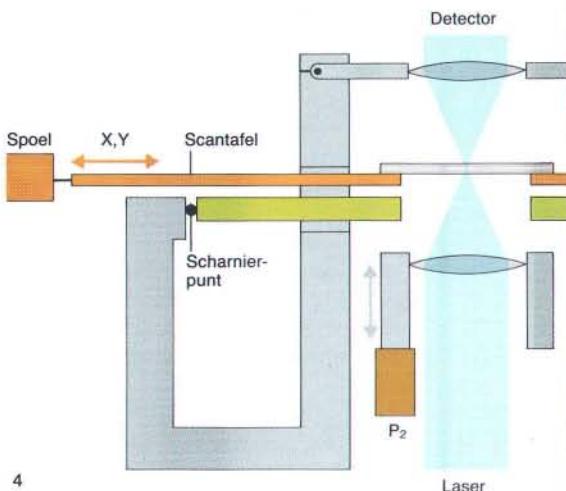
Een ander verschil met de conventionele lichtmicroscoop is dat bij een scannende microscoop de vergrotingsfactor onafhankelijk is van het gebruikte objectief. De vergroting wordt immers bepaald door de uitslag van de scantafel. Hoe kleiner deze is, des te kleiner is het beeldveld dat bekeken wordt en des te grote de vergroting. Alle vergrotingen kunnen dus met één en hetzelfde objectief gerealiseerd worden. Vooral bij lagere vergrotingen heeft dit voordelen. Wil men een overzichtsopname van een object maken, dan moet men bij de conventionele microscoop werken met een objectief dat bijvoorbeeld  $20\times$  vergroot. Bij de scanningmicroscoop kan men ook met een  $100\times$  vergrotend objectief overzichtsopnamen maken, waarbij de beeldkwaliteit aanmerkelijk beter is.

De wijze van beeldvorming in de CSLM maakt het mogelijk om het beeld niet alleen direct op een scherm weer te geven maar ook om het digitaal op te slaan in een computergeheugen. Dit beeld kan vervolgens gebruikt worden voor beeldverwerking en/of worden opgeslagen op een achtergrondgeheugen (harddisk). De beeldverwerking vindt plaats met behulp van een tweede microcomputer en staat in principe los van de microscoop als zodanig. Bij de beeldverwerking is het onder andere mogelijk de opnamen te verbeteren door ruisonderdrukking en contrastaanpassing. Ook kunnen driedimensionale beelden gegenereerd worden.

### De CSLM als transmissiemicroscoop

Aanvankelijk lag onze interesse vooral in hoge resolutiebeelden bij doorvallend licht (transmissie). Afbeelding 7 laat een praktisch voorbeeld zien waarbij in het CSLM-beeld inderdaad veel meer detail zichtbaar is. Van

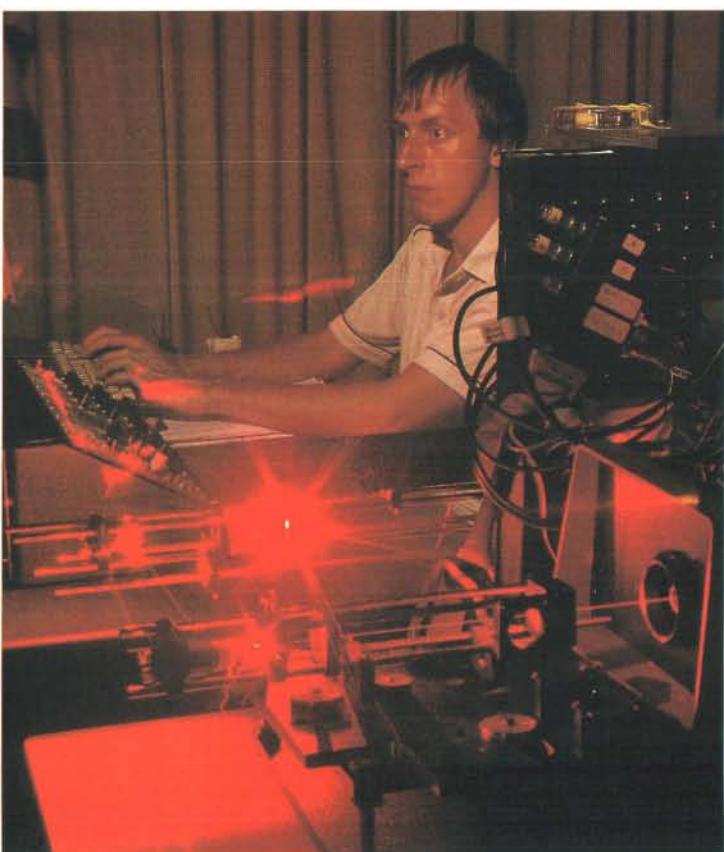
4. Schematische dwarsdoorsnede van de scantafel en omgeving. De scantafel is bevestigd aan een spool (links) en rust rechts via een robijn op een hardmetal oppervlak. Met behulp van de spool kan de beweging in het platte vlak ( $X, Y$ ) gestuurd worden. De scantafel schaatst als het ware via de robijn over het harde oppervlak. De verticale beweging ( $Z$ ) gaat met behulp van een piezo-elektrisch element ( $P_1$ ) met een instelprecisie van  $10\text{ nm}$ . Het scharnierpunt bevindt zich links. Verder kan het objectief nog op en neer worden bewogen met het piezo-elektrisch element  $P_2$ . Het bovenste objectief kan weggeklapt worden, zodat de preparaattafel gemakkelijk toegankelijk is.



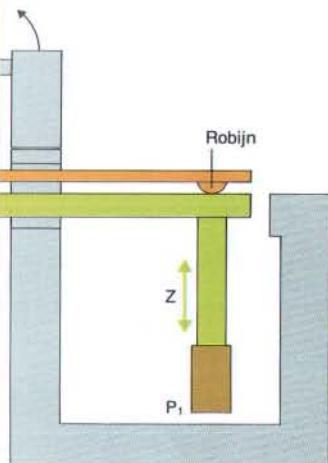
4

5. De laserscanmicroscoop lijkt uiterlijk in het geheel niet op een gewone lichtmicroscoop. De bediening geschiedt vanuit een toetsenbord en de laserbundels zorgen voor een spectaculair aandoend lijnen spel.

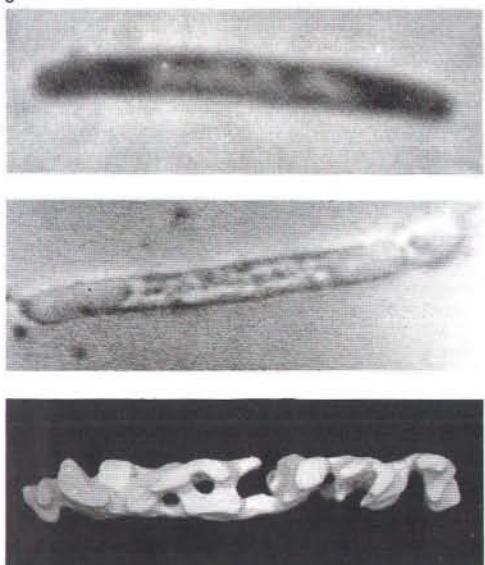
6. Fasecontrast- (boven) en CSLM-(transmissie)-beeld (midden) van een filamenterende *Escherichia coli*-mutant. De lichte gebieden in de cel bevatten het DNA. Dit gebied wordt nucleoid genoemd. De CSLM-opname geeft een veel contrastrijker beeld dan de fasecontrastmicroscoop. De onderste opname is een houten model, gebaseerd op elektronenmicroscopische opnamen, bedoeld om het CSLM-beeld te verifiëren.



5

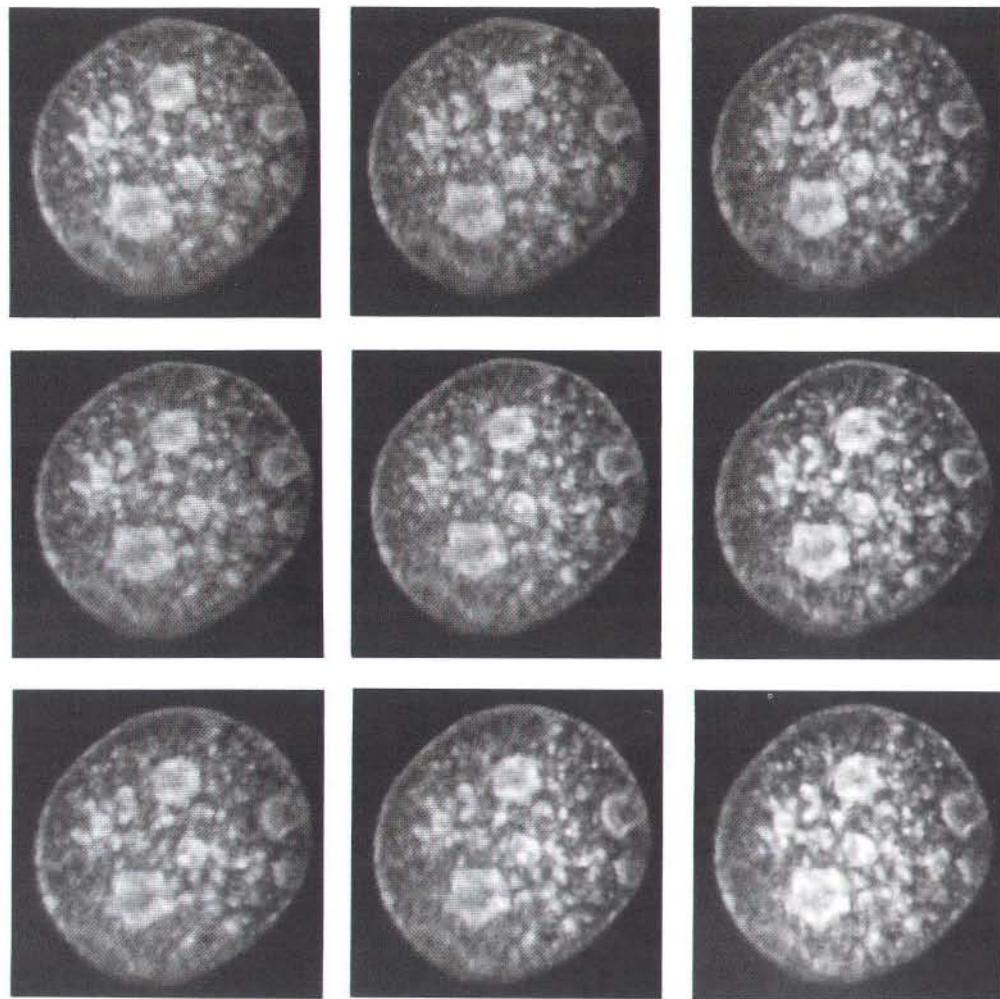


6



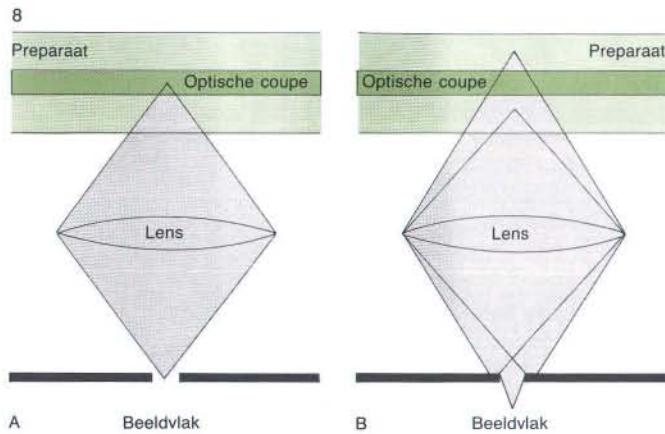
het begin af aan was er ook de zorg of het extra detail betrouwbaar was, met andere woorden: of de extra details die we konden zien ook inderdaad in het object aanwezig waren en niet het gevolg van een fout in het systeem.

In een aantal modelexperimenten hebben we de betrouwbaarheid van de beeldvorming aangegetoond. Eén benadering die we hebben gekozen was het maken van een CSLM-afbeelding van een dunne coupe die was geprepareerd voor de elektronenmicroscoop. Vergelijking van het CSLM-beeld met het elektronenmicroscopisch beeld liet in het eerste geen verdachte structuur zien. Een ietwat andere benadering is te zien in afbeelding 6. Dit voorbeeld heeft betrekking op het nucleoïed van *E. coli*. De extra informatie die we met behulp van de CSLM gekregen hebben, heeft er in belangrijke mate toe bijgedragen dat we de structuur van het nucleoïed nu wel goed kunnen bestuderen.



7

8. Scherptediepte in de CSLM. Een in het beeldvlak geplaatst pinhole laat licht vanuit de optische coupe passeren (A). Licht vanuit boven of onder de optische coupe gelegenlagen wordt tegengehouden (B) en kan de achter het pinhole geplaatste detector niet bereiken.



A

Beeldvlak

B

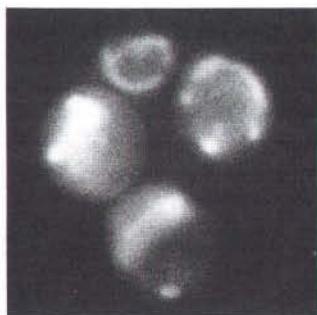
Beeldvlak

7. De kern van een neuroblastoma (kanker)cel van een muis, gezien onder negen verschillende hoeken. Elke foto vormt met elke foto ernaast een stereopaar, zowel in horizontale als in verticale richting. Het chromatine in de kern dat specifiek gekleurd is, ligt in oriëntatie te verschuiven wanneer verschillende stereoparen snel na elkaar bekeken worden. De in dit artikel opgenomen stereofoto's kunnen het best vanaf ca. 40 cm afstand bekijken worden, zodanig dat het linkeroog alleen het linkerplaatje ziet en het rechteroog alleen het rechterplaatje (zet eventueel een vel papier tussen beide ogen). Brildragers met negatieve glazen kunnen het best de bril afzetten.

9. Levende cellen van *Saccharomyces cerevisiae* (bakkersgist) waarin de mitochondriën selectief gekleurd zijn. In tegenstelling tot het klassieke beeld van het mitochondrium, blijkt het in gist een netwerk te vormen. Deze structuren zijn met de elektronenmicroscoop moeilijk op te houden. De twee foto's links vormen een CSLM-stereopaar, de rechteropname is gemaakt met een conventionele fluorescentiemicroscoop.

nu licht van de juiste golflengte op het, al dan niet natuurlijke, fluorochroom en zorgt men er met behulp van filters voor dat dit licht niet het oog of de camera kan bereiken, dan kan men het langgolvige fluorescentielicht waarnemen op die plekken waar zich het fluorochroom bevindt. Als lichtbron wordt in de CSLM een kryptonionen laser gebruikt. Deze kan licht van een groot aantal verschillende golflengten produceren en dus worden ingesteld op een voor de gebruikte fluorochroom specifieke golflengte.

Het bijzondere van de CSLM is dat het fluorescentielicht uit lagen van het object die uit-focus zijn, nauwelijks bijdraagt aan het totale beeld. Dat licht wordt voor het grootste deel tegengehouden door de pinhole voor de detector (zie afb. 8). Het bekeken preparaat is daarom helder oplichtend en scherp (in-focus). Wat uit-focus is, is donker en onzichtbaar. In het geval van de conventionele lichtmicro-



9

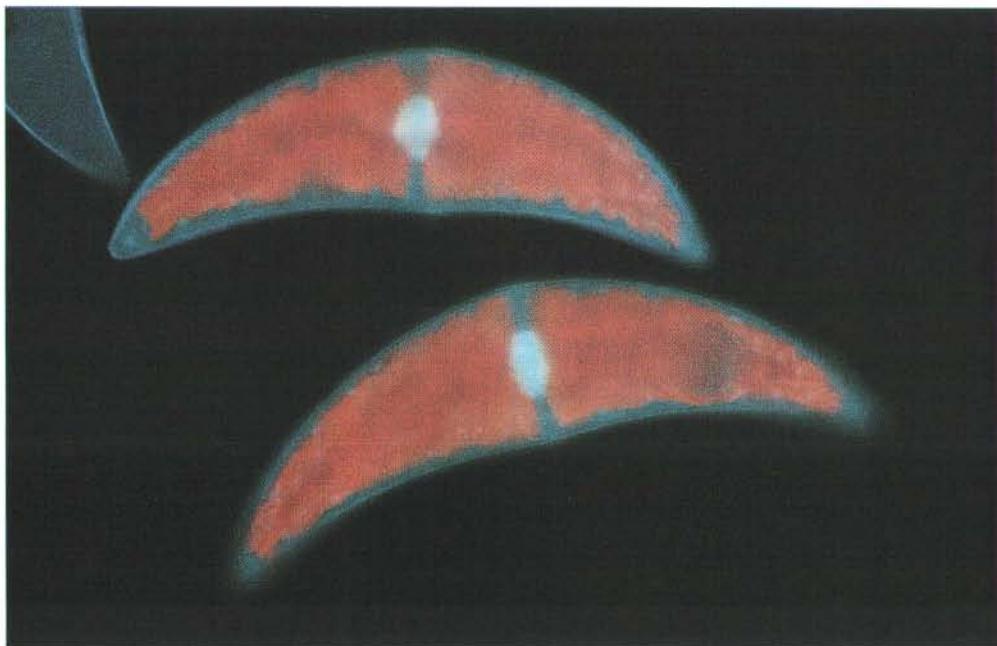
### De CSLM als fluorescentiemicroscoop

De fluorescentie treedt op wanneer objecten, die worden aangestraald met licht van een bepaalde golflengte, zelf licht gaan ustralen met een langere golflengte. Bestraling met groen licht kan dan bijvoorbeeld resulteren in rode fluorescentie. Fluorescentie is een in de levensnatuur voorkomend verschijnsel. Chloroplasten van plantecellen vertonen het bijvoorbeeld in sterke mate.

In de microscopie wordt van dit verschijnsel gebruik gemaakt door aan van nature niet-fluorescerende objecten een fluorescerende stof, een *fluorochroom* te binden. Straalt men

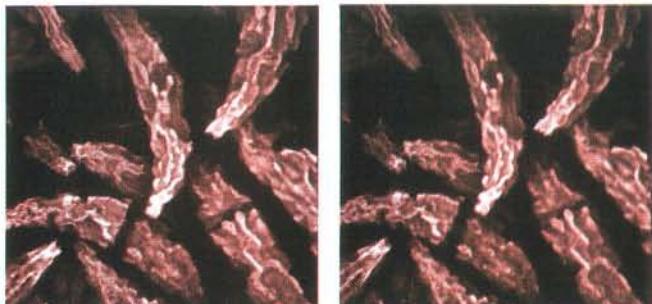
scoop dragen uit-focus gelegen delen van het preparaat wel bij aan het beeld, wat daardoor de waarneming verstoort.

Deze eigenschap maakt het mogelijk stereoscopische beelden te maken volgens de methode als aangegeven in afbeelding 11. Het voorbeeld (afbeelding 7) laat een stereopaar zien van fluorescerende mitochondriën in de gist *Saccharomyces cerevisiae*. Bij deze kleuring blijven de gistcellen in leven. Duidelijk is te zien dat het mitochondrium een samenhangende vertakte structuur is. Vergelijken we deze met de EM-opname van hetzelfde object, dan zien we dat de elektronenmicroscoop een misleidend beeld geeft doordat door de hoge



10

10. Het ééncellige groenwier *Closterium moniliforme* bestaat vrijwel geheel uit een grote, in twee stukken gedeelde, chloroplast, met daar tussenin de kern. De grote foto is gemaakt met een gewone lichtmicroscoop bij lage vergroting, waarbij de chloroplast roze fluoresceert. De twee kleine foto's zijn een stereopaar gemaakt met de CSLM, waarbij de spectrograaf is afgesteld op de fluorescentie van de chloroplast.



resolutie de samenhang van de biologische structuren verloren gaat.

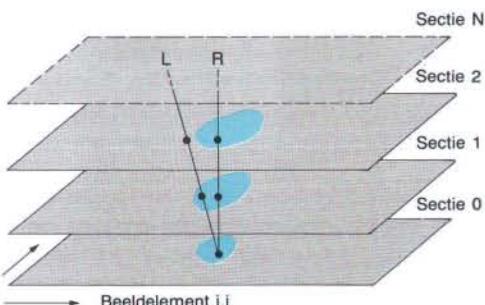
Wanneer de beeldinformatie van de opeenvolgende optische coupes in de computer opgeslagen is, kan men vanuit verschillende oriëntaties een beeld maken, zo kan men ook stereoparen maken. Men kan als het ware om het object heen 'wandelen' en het meest informatieve stereopaar kiezen. De diverse mogelijkheden van CSLM kunnen ook gecombineerd worden. In afbeelding 10 is een voorbeeld te zien van dubbellabeling. De chloroplast van *Closterium moniliforme* fluoresceert uit zichzelf, de kern is met een fluorochroom fluorescerend gemaakt.

Ook kan de microscoop in reflectie werken. Een mooi voorbeeld is te zien waar een spore van *Dawsonia superba* is afgebeeld (pag. 940). Deze spore is bezet met kleine stekeltjes in de grootte orde van  $0,2\text{ }\mu\text{m}$ . In dezelfde spore kan de chloroplast met behulp van autofluorescentie zichtbaar gemaakt worden.

De CSLM biedt nieuwe mogelijkheden voor celbiologisch- en biochemisch onderzoek. Deze mogelijkheden zijn ten opzichte van de klassieke elektronenmicroscopie en lichtmicroscopie als volgt af te grenzen. De elektronenmicroscoop geeft hoge resolutie van kleine structuren, waardoor inzicht in een hogere organi-

11. Computergeneratie van stereoscopische paren. Het mechanisch scannen van het preparaat in de CSLM maakt het mogelijk de fluorescente of transmissiewaarde per punt (beeldelement) met bijbehorende coördinaten ( $i,j$ ) op te slaan in een computergeheugen. De gegevens van een aantal optische coupes kunnen dan vervolgens gebruikt worden voor het maken van stereoscopische beelden (een stereoscopisch fotopaar). Bij dit proces wordt voor ieder beeldelement in één van de foto's van het paar, langs een lijn (L) door het preparaat (een stapel optische coupes) heen gekken. De hoogst aangetroffen beeldwaarde wordt toegekend aan het beeldelement in de stereofoto. Door voor de tweede foto van het paar een lijn (R) te kiezen die een hoek maakt met de eerste, wordt het stereo-effect bereikt. Het variëren van de hoek maakt het mogelijk het preparaat als het ware vanuit verschillende hoeken te bezichtigen.

12. Anafase in de worteltop van *Crepis capillaris*. De anafase is het stadium van de celdeeling waarin de chromatiden naar de polen van de cel bewegen, waarna twee nieuwe cellen kunnen ontstaan. De foto is gemaakt door het DNA fluorescerend te kleuren. Vervolgens is met een beeldbewerkingsprogramma een 'schaduw' ingebracht. Het resultaat wordt een 'solid model' genoemd.



11

12



satiestructuur verloren gaat. Anders gezegd, door de bomen wordt het bos niet meer gezien. Als voorbeeld kan de ruimtelijke structuur van het mitochondrium genoemd worden. De licht-microscoop geeft te weinig details (het bos laat geen bomen zien). Dit gat wordt op twee manieren opgevuld door de CSLM. Enerzijds doordat gemakkelijk 3-D beelden van hoge resolutie te genereren zijn, anderzijds doordat bij geschikte objecten de dynamiek van de waterbevattende *levende* cel gevolgd kan worden. Hierbij valt te denken aan groeiende cellen, maar ook aan processen als endocytose en exocytose.

De veranderende oriëntaties die ruimtelijke structuren ten opzichte van elkaar vertonen moeten overzichtelijk en kwantitatief gepresenteerd kunnen worden. Dit zal vanuit de (bio)informatica dienen te gebeuren. Deze ontwikkelingen, hoewel noodzakelijk, staan als zodanig los van de microscoop. Echter een verdere verbetering van het oplossend vermogen van de CSLM ligt wel in het verschiet. Computertechnieken toegepast op beelden van de conventionele lichtmicroscoop hebben geleid tot een verbetering van de beeldkwaliteit. Dezelfde benadering kan toegepast worden bij de CSLM (superresolutie). De eerste stappen hiertoe zijn reeds door ons ondernomen.

De ontwikkeling van de CSLM heeft in een biologisch laboratorium plaatsgevonden, vandaar de biologische voorbeelden. De microscoop blijkt echter ook erg geschikt te zijn voor ruimtelijke analyses van waterhoudende emulsies van oliën en vetten.

#### Literatuur

Brakenhoff GJ, Binnerts JS, Woldringh CL. Developments in high resolution confocal scanning light microscopy (CSLM). In Ash EA (ed.), Scanned image microscopy. London: Academic Press, 1980.  
 Brakenhoff GJ, van der Voort HTM, van Spronsen EA, Linnemanns W A M, Nanninga N. Three-dimensional chromatin distribution in neuroblastoma nuclei shown by confocal scanning laser microscopy. Nature 1985; 317: 748-749.  
 Sheppard, CJR. Scanning methods in optical microscopy. Endeavour 1986; 10: 17-19.

#### Bronvermelding illustraties.

Alle illustraties zijn afkomstig van de auteurs. Dr J.L. Oud tekent voor afb. 12.

# **Spel zonder grenzen**

## **Kanttekeningen bij de supergeleidingswaanzin**

**Simon Rozendaal**

Vanaf het allereerste uur was supergeleiding een internationale wetenschappelijke ontwikkeling. Het curieuze fenomeen dat materialen hun elektrische weerstand soms volledig kunnen verliezen werd ontdekt door een Nederlander, Heike Kamerlingh Onnes. De recente vondst dat ook bepaalde keramische metaaloxyden het verschijnsel vertonen kwam van de kersverse Nobelprijswinnaars, de Zwitser en de Duitser, Karl Alex Müller en Johannes Georg Bednorz. Het temperatuurrecord van  $-178^{\circ}\text{C}$  tenslotte staat op naam van een Chinese Amerikaan, Ching-Wu Chu, die in de wandeling Paul heet. In de supergeleidingsgroep van Chu aan de universiteit van Houston, algemeen beschouwd als een van de topteams op dit gebied, werken mensen met weluidende namen als Pei-Herng Hor en Maw-Kuen Wu. Heike, Karl Alex, Johannes Georg, Ching-Wu, Pei-Herng en Maw-Kuen – als er ooit een pleidooi nodig is voor wetenschap als spel zonder grenzen is, dan voldoet deze opsomming van voornamen. Helaas. Bij de wetenschappelijk-technologische race om supergeleiding spelen tegenwoordig zoveel belangen dat er allesbehalve van een spel sprake is. En de slagbomen aan de nationale grenzen worden steeds vaker gesloten voor onderzoekers met een onwelgevallig paspoort.

Het summum in de anti-wetenschappelijke troebelen was het besluit van de Amerikaanse regering om de afgelopen zomer nauwelijks buitenlanders toe te laten op een massale conferentie over de commerciële aspecten van supergeleiding. Slechts buitenlandse journalisten waren welkom maar alle andere allochtonen, ook de wetenschappelijke attaché's aan de ambassades in Washington, mochten er niet in van William Graham, de wetenschapsadviseur van Reagan.

rium van Philips. Niet Holst kreeg echter de Nobelprijs maar zijn baas, Kamerlingh Onnes, die meer als manager had gefunctioneerd. Ook begon later de commercie wel enige rol te spelen. Vooral de afgelopen decennia waren er schoorvoetend enkele toepassingen van supergeleidende magneten gekomen: in deeltjesversnellers en in ziekenhuizen (de NMR-doorlichtapparaten).

Toen verschenen Müller en Bednorz op het toneel. Hun ontdekking vertelt zo veel

### **Heike, Karl Alex, Johannes Georg, Ching-Wu, Pei-Herng en Maw-kuen: supergeleiding is een internationale ontwikkeling**

Supergeleiding is dan ook al lang niet meer dat buitenbeentje in de fysica, dat het was sinds Kamerlingh Onnes er in 1911 tegen aan liep. Heel lang was het een brave bedoeining voor knappe koppen – iets dat zich ver weg van de samenleving, in geleerde afzondering, voltrok. Akkoord, er was af en toe sprake van enige wetenschappelijke onmin, zoals bij de ontdekking in 1911. Veel van het wetenschappelijk werk, en vrijwel al het experimenteren, geschiedde toen door Gilles Holst, de latere stichter van het Natuurkundig Laborato-

over het hedendaagse wetenschapsbedrijf, dat het de moeite waard is om er wat langer bij stil te staan. In de eerste plaats betreft het industriële onderzoekers. De oude Zwitser (begin zestig) en de jonge Duitser (bijna veertig) werkten op het IBM-laboratorium in Rüschlikon, nabij Zürich. De twee belangrijkste naoorlogse wetenschappelijke doorbraken, de transistor en de nieuwe supergeleiding, komen dus uit industriële laboratoria – de eerste van het bedrijf AT&T, de laatste van het eveneens Amerikaanse International

Business Machines. Het bevestigt een trend die al enkele decennia zichtbaar is: de industrie is bezig de universiteit voorbij te streven als citadel van kennisverwerving. Een ander opmerkelijk aspect

logie slechts om een race tussen Amerika en Japan zou gaan.

Prof dr Müller besefte dat ook toen hij eerder dit jaar op een bijeenkomst in Londen zei dat zijn onderzoek pas in-

tunneling microscoop waarvoor Heinrich Rohrer en Gerd Binnig in 1986 de Nobelprijs kregen en nu een wetenschappelijk nog opmerkelijker doorbraak van Müller en Bednorz, die een jaar later de Nobelprijs oplevert.

Opmerkelijk verder is dat het werk van Müller en Bednorz in gaat tegen een trend dat het verleggen van grenzen in de wetenschap gekocht kan worden. Veel opzienbare ontdekkingen zijn slechts mogelijk met zeer dure apparatuur – de eerder genoemde tunneling microscoop is daar een voorbeeld van. Wie tegenwoordig op het gebied van de micro-elektronica nog iets baanbrekends wil doen, doet er goed aan enkele zakken vol miljoeën aan te slepen.

Een belangrijk aspect van de nieuwe supergeleidende materialen die door de Zwitsers-Duitse combinatie zijn ontdekt, is dat ze zo simpel te maken zijn. Je mengt wat



Twee medewerkers van IBM met een serie voorwerpen van supergeleidend materiaal (IBM-foto).

is dat de ontdekking in Europa plaats vond. Vroeger was dat meestal zo, maar tegenwoordig niet meer. Vooral Amerika heeft de afgelopen decennia het voortouw genomen, mede met behulp van Europeanen die naar de VS gelokt (de brain-drain) of gevlogen (de oorlog) zijn. Mede omdat in een aantal high-tech gebieden Europese industrieën een rol van ondergeschikt belang spelen (vooral in computers en micro-elektronica) is er in de internationale publieke opinie een beeld gevormd alsof het bij geavanceerde wetenschap en technolo-

ternationale belangstelling kreeg nadat het was bevestigd door Japanse onderzoekers. Hij zei toen letterlijk, terwijl hij naar zijn Amerikaanse baas Praveen Chaudhari keek: 'Dat leidde er toe dat de Amerikanen in beweging kwamen, want die kijken meer naar Japan dan naar Europa.' Chaudhari – vice-president science van IBM Science – zal inmiddels overigens wel zijn lesje geleerd hebben. Het is immers de tweede keer in korte tijd dat het IBM-laboratorium bij Zürich met een grote wetenschappelijke doorbraak komt. Eerst de

poeders, maalt ze in een mortier, bakt ze in de oven en een paar uur later heb je een supergeleidend materiaal. Omdat de nieuwe materialen al bij de temperatuur van vloeibare stikstof (goedkoop) in plaats van vloeibaar helium (duur) hun kunsten vertonen kan eigenlijk elk laboratorium – zelfs in het Deetmantschap – aan supergeleiding doen.

Het bewijs hiervan is dat er al een do-it-yourself-kit op de markt is gebracht door een Japanse firma (Nakamura Scientific). Voor een bedrag van honderd à tweehonderd

gulden kan zelfs een middelbare school het nieuwe fenomeen demonstreren. In Amerika heeft men het dan ook over een historische verandering van 'megascience' tot 'table-top-science'.

### Vrijheid

Een interessant detail tenslotte is dat Müller een IBM-fellow is. Fellows zijn bij IBM onderzoekers die hun sporen internationaal hebben verdien en die een vrijgestelde positie hebben. Er zijn er enkele tientallen van bij het multinationale computerconcern en ze kunnen kiezen aan welk onderzoeksonderwerp ze willen werken. Ze kunnen zelfs ook kiezen op reis te gaan of om thuis het verzameld werk van Thomas Mann eindelijk eens te lezen.

Müller kreeg boven dien helemaal zijn handen vrij toen hij in 1985 geen administratief werk meer hoefde te doen als hoofd van de fysica-afdeling van het IBM-laboratorium. In tegenstelling tot Paul Chu die zijn hele leven al met supergeleiding bezig was — hij is opgeleid door Bernd Matthias, een in Duitsland geboren Amerikaan die de 'grand old man' van supergeleiding was — kwam Müller eigenlijk nogal onvoorbereid in het gebied terecht.

Op eerder vermelde bijeenkomst in Londen zei hij: 'Ik ben een greenhorn op dit gebied, ik ben niet beladen met al te veel theorieën.' En iets later zei deze 'greenhorn' (groentje): 'Ik heb lang een soort complex gehad omdat ik nooit het gevoel had echt te begrijpen wat nu supergeleiding was.'

Kortom, het geheel lijkt een schoolvoorbij voorbeeld van serendipiteit, zeg maar stom geluk. Het lijkt een logenstraffing van de Amerikaanse uitdruk-

king 'fortune favours a prepared mind'. Zeker is dat de ontdekking van Müller en Bednorz een pleidooi is voor een redelijke vrijheid voor fundamentele onderzoekers. Een pikant detail is dat de afgelopen jaren die vrijheid in de geïndustrialiseerde landen juist is ingeperkt. Op veel uni-

Müller aan supergeleiding bij metaaloxyden werkte. Pas na ongeveer een jaar, toen Bednorz zo'n dertig procent van zijn tijd voor Müller besteedde, lichtte Müller Bednorz's directe chef in. Hij deed dat echter op een vage manier en sprak het woord supergeleiding niet of nauwelijks uit.

## Müller vreesde voor plagiaat door referenten die hij niet goed kende

versiteiten is door de bezuinigingen minder mogelijk dan vroeger en zijn gekwalificeerde wetenschapsmensen meer tijd kwijt met onderwijs en bureaucratie. Ook binnen de industrie zijn er nauwelijks mensen meer die echt ongestoord mogen fröbeln — er moet toch al snel een bepaalde relatie zijn met een huidig of toekomstig product. Het feit dat de overheid tegenwoordig ook een duidelijker planning in het wetenschapsbedrijf wil komt hier nog bovenop. 'In een land met een krachtig wetenschapsbeleid zou de uitvinding van Müller en Bednorz niet mogelijk zijn geweest,' zei onlangs een belangrijk architect van het Nederlandse wetenschapsbeleid die liever zijn naam niet vermeld zag. Müller was dus een vreemde eend in de bijt. Hij was een groentje in de supergeleiding, werd door geen enkele chef op de vingers gekeken en hoefde geen voortgangsrapporten te schrijven. Hij kon het zich veroorloven om op een gebied werkzaam te zijn waarvan de buitenwacht dacht dat de vooruitgang er al enkele decennia stil stond. Anders gold het voor Bednorz. Een curieus detail is dat Bednorz het een tijdje voor zijn superieuren verborgen heeft gehouden dat hij samen met

### Geheimhouding

Ook na de ontdekking (op 27 januari 1986) dat Müller en Bednorz een geheel nieuwe categorie supergeleidende materialen hadden ontdekt, bleef enige mate van geheimhouding het parool. Niet zozeer ten opzichte van moederbedrijf IBM maar nu ten opzichte van de collega-fysici, tevens concurrenten in de race die, zo wisten de twee zeker,



op den duur zou ontstaan. In september 1986 verscheen de eerste publikatie van het duo. Dat was een heel voorzichtig artikel met als stelling (en titel) dat er misschien sprake was van supergeleiding bij een hogere temperatuur dan voorheen mogelijk was. De voorzichtigheid werd veroorzaakt omdat op het moment dat de onderzoekers het artikel opstuurdens zij nog geen definitieve test van de supergeleiding hadden gedaan. Daarvoor was een machine nodig die ze uiteindelijk in augustus 1986 binnengekregen en waarmee ze heel snel bevestigden dat het inderdaad om supergeleiding ging. Het voordeel van de voorzichtig geformuleerde publikatie was dat collega's/concurrenten als ze het artikel lasen niet ogenblikkelijk opgewonden aan de slag zouden gaan. Bovendien was de kans niet zo verschrikkelijk groot dat ze het zouden lezen want Müller

had het artikel opgestuurd naar het Duitse *Zeitschrift für Physik*.

Omdat de concurrentie bovenal in de Verenigde Staten en Japan zat, was ook hiervan het resultaat dat men in eerste instantie het belang van de uitvinding niet in de gaten had. Of dit nu bewust gepland is door Müller is niet duidelijk. Wie hem ontmoet, ziet een Zwitserse gentleman met een grijs baardje, boordevol vriendelijkheid. Alleen zijn sluwe vosogen doen vermoeden dat zijn persoonlijkheid meer lagen kent. Tegen het Duitse weekblad *Der Spiegel* zei hij eerder dit jaar dat er twee redenen waren waarom hij voor het *Zeitschrift* en niet de eerder voor de hand liggende *Physical Review Letters* koos. In de eerste plaats was het volgens hem een vriendendienst. Zijn voormalige baas, Harry Thomas, was verbonden aan het tijdschrift en had hem verteld

voren op zijn wetenschappelijk gehalte beoordeleden. Omdat het wetenschappelijk werk betrof dat in een week kon worden nagebootst, vreesde Müller voor plagiaat door referenten die hij niet goed kende. Het *Zeitschrift* had maar twee referenten waarvan Müller de een heel goed kende omdat deze zijn buurman in het IBM-laboratorium was. Aldus wist Müller zich ervan verzekerd dat slechts twee goede vrienden van hem, zijn buurman en zijn ex-baas, het artikel hadden gelezen voor het *Zeitschrift* uitkwam. Müller: 'We wilden rustig kunnen slapen'. De wetenschappelijke wedren begon dus niet in september 1986 toen het *Zeitschrift* uitkwam maar pas enkele maanden later. Als de Japanners er niet waren geweest met hun perfecte systeem van informatievergaren, dan hadden Müller en Bednorz hun wetenschappelijke voorsprong zelfs nog verder kunnen uitbouwen. Japanners lezen echter alles, dus ook het *Zeitschrift für Physik*. De Japanner Tanaka deed de proeven van Müller en Bednorz na en bevestigde het resultaat in december 1986. Nu was de hel losgebroken. Overal in de wereld werden onderzoekers vrijgemaakt. Er was sprake van ploegendienst. Sinds de transistor en de chip was er niet meer zoveel opwinding in de fysica geweest.

Vanwege de concurrentie plus het feit dat de experimenten zo simpel uit te voeren waren, ontstond er een race waarin iedereen elkaar zoveel mogelijk probeerde af te troeven. Niet altijd gebeurde dit even verantwoord. Zo waarschuwde de eerder dit jaar de Leidse natuurkundige dr Peter Kes, die al voor de opwinding aan supergeleiding werkte, in Elsevier: 'Men is zo gretig dat er

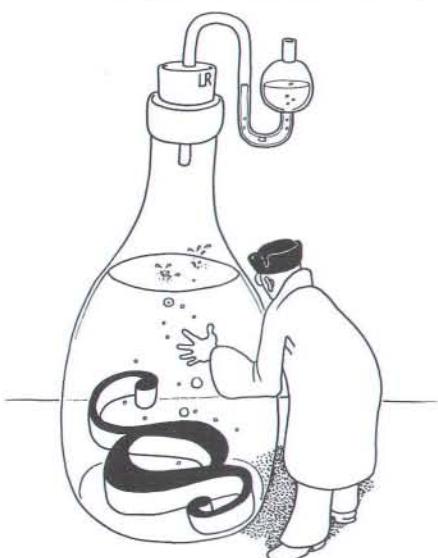
**Tijdens de Amerikaanse conferentie over supergeleiding in Washington wordt president Reagan het Meissner-effect gedemonstreerd (AP-foto).**

dat ze wat in de problemen zaten en behoefte hadden aan nieuwe abonnementen en dus geruchtmakende artikelen. Müller had Thomas toegezegd als hij iets bijzonders had het naar het *Zeitschrift* op te sturen en voelde zich dus moreel gebonden.

De andere reden was echter tactiek. Müller in *Der Spiegel*: 'Ik publiceer al een jaar of dertig, ben dus een oude rot en ken het systeem'. Probleem waren de referenten, de mensen die een artikel van te



## Cartoon



Reinhold Löffler

af en toe wetenschappelijke artikelen worden gepubliceerd op basis van onzuivere en soms ronduit slechte materialen. Normaal zou men dat niet durven maar nu wil men zo snel mogelijk artikelen publiceren, uit angst dat een ander eerder is.'

Ook de truc van Müller en Bednorz vond navolging. Weliswaar publiceerde Paul Chu zijn artikel, waarin hij meldde met welk materiaal hij het temperatuurrecord in supergeleiding had gevestigd, keurig in Physical Review Letters. In het document dat de referenten echter onder ogen hadden gehad stonden twee foutjes. Er was sprake van een temperatuur van 1100 graden in plaats van 1000 graden waarbij het mengsel moest worden gebakken. Bovendien moest er niet met ytterbium worden gewerkt zoals

de referenten abusievelijk dachten, maar met yttrium. Chu had de ontdekking al op 15 februari 1987 bekend gemaakt zonder de precieze details te openbaren. De hele wetenschappelijke gemeenschap was dus zeer benieuwd naar die details en Chu had er bij de redactie van Physical Review Letters op aangedrongen dat het artikel een speciale behandeling zou krijgen. Chu ontdekt achteraf dat de twee foutjes moedwillig in het artikel waren aangebracht en stelt dat het doodgevone typfouten waren.

De redactie van Physical Review Letters ontdekt dat ze de details van Chu's experimenten heeft laten uitlekken. Andere Amerikaanse fysici hebben echter melding gemaakt van het feit dat het tussen februari en maart 1987 gonsde van de geruchten dat er met

het exotische element ytterbium opmerkelijke resultaten mogelijk waren.

## ■ Commercie ■

De achtergrond van dit alles is natuurlijk niet alleen dat dit wetenschappelijk zo fascinerend is. Het is wel één van de argumenten en niet de minste. De temperatuur waarbij supergeleiding mogelijk is, is aanzienlijk verhoogd in de afgelopen twee jaar. Bovendien ziet het er naar uit dat er van totaal andere natuurkundige principes sprake is bij de nieuwe supergeleiding. Het is dan ook sterk de vraag of de theorie die de oude supergeleiding kon verklaren op den duur zal overleven.

Het overheersende argument is echter dat er immense commerciële belangen op het spel staan. Mocht het inderdaad mogelijk worden om supergeleiding bij kamertemperatuur te realiseren, zoals veel fysici menen, dan zal alles wat in de hedendaagse samenleving door elektriciteit wordt aangedreven – wat niet? – veranderen.

Vandaar dat president Reagan zelf aanwezig was op de eerder genoemde conferentie in Washington over de commerciële aspecten van supergeleiding. Vandaar dat buitenlanders, de Japanners voorop, niet welkom waren op die conferentie. Vandaar ook dat Reagan op dezelfde conferentie bekend maakte dat er een Super Conductivity Initiative (met bijna dezelfde afkorting als het Star Wars Programma SDI) zou komen en dat een van de onderdelen van dit regeringsplan een steun van 150 miljoen dollar van het Amerikaanse defensieministerie zou zijn, verspreid over de komende drie jaar. Supergeleiding is voor de Amerikaanse economie

klaarblijkelijk zo belangrijk dat de antitrustwetten – een heilige koe in de Amerikaanse democratie – speciaal voor het SCI-programma versoepeld worden: Amerikaanse bedrijven worden aangemoedigd om samen te werken aan supergeleiding.

Heel belangrijk bij dit Amerikaanse optreden is de angst voor Japan. Die is er de afgelopen jaren stevig in komen te zitten, nadat men in Amerika heeft gadegeslagen hoe Japan tal van high tech markten op de VS buit maakte.

De Japanse oplossing voor de supergeleidingswedkamp is Kamer 613 op het Miti, het vermaarde industrie ministerie. Daar zetelt Masatoshi Urashima die sinds de ontdekking van Müller en Bednorz een dagtaak heeft aan het enthousiasmeren en coördineren van de Japanse industriële activiteiten in de supergeleiding.

Een studie die in opdracht van Kamer 613 is uitgevoerd heeft uitgewezen dat er in het jaar 2000 wellicht sprake is van een wereldwijde markt van jaarlijks 20 miljard dollar op het gebied van supergeleidende technieken. Al enkele dagen na de aankondiging van Paul Chu op 15 februari 1987 dat hij supergeleiding bij  $-178^{\circ}\text{C}$  had bereikt, had Kamer 613 een samenwerking tussen Japanse bedrijven en overheidslaboratoria op het gebied van supergeleiding geregeld, zodat een researchteam van 40 man aan de slag kon. Enige tijd later maakte het Science and Technology Agency, een bureau dat onder de minister-president resorteert, bekend dat het honderd miljoen dollar subsidies voor supergeleiding beschikbaar stelt, uitgesmeerd over de komende vijf jaar.

Of het toeval is of niet, enige tijd later maakten Japanse

kranten melding van het feit dat een onderzoeker op het gebied van supergeleiding van de universiteit van Hiroshima doodgestoken was aangetroffen in zijn kantoor. Er was een vreemd geel poeder over hem uitgestrooid. Het lijkt een idioot motief maar Japanse kranten suggereerden (de politie in Hiroshima weigerde commentaar) dat dit een poeder was dat als ingrediënt voor een supergeleidend

mengsel kon worden gebruikt en dat de universitaire onderzoeker was vermoord vanwege concurrentieoverwegingen. Het is waarschijnlijk flauwefkul maar het incident geeft wel aan dat het onderwerp supergeleiding in de Japanse samenleving klaarblijkelijk zo leeft dat ook de moordverslaggevers er een smakelijk (nou ja) verhaal op kunnen baseren. Wie had dat in 1911 kunnen denken? ■

## De pendel van het determinisme

**Joost van Kasteren**

Voor gelovige mensen kan de mens wiken, maar beschikt God. Voor sommige biologisch georiënteerde gedragswetenschappers mag de mens misschien wel wiken, maar is zijn ontwikkeling voorberecht door zijn genen. 'Het idee van voorbeschikking is weer helemaal terug in de samenleving,' meent dr P.A. Vroon, hoogleraar psycholo-

gie in Utrecht. Hij is er niet gelukkig mee.

Vroon: 'Ik vraag me wel eens af waarom mensen zich zo opwinden over de vraag of intelligentie, gedrag en/of persoonlijkheid erfelijk bepaald zijn. Stel dat je onomstotelijk zou kunnen vaststellen; so what. Moet je dan huwelijken tussen bepaalde groepen mensen gaan verbieden? Dat kun



**Prof dr P.A. Vroon (Foto: Klaas Koppe).**

je toch niet maken.'

Interessanter voor Vroon is de vraag waarom op gezette tijden in de historie het idee van de voorbeschikte ontwikkeling van mensen weer opduikt.

'Je kunt het denkbeeld dat alles al vastligt bij de geboorte terugvinden bij Seneca, de Romeinse schrijver. Je vindt

'Maar niet alleen in de wetenschap. Minister Deetman vroeg enkele jaren geleden alle ouders om een formulier in te vullen waarin gevraagd wordt naar hun opleiding. Afhankelijk van de uitkomsten mag een school waar veel kinderen opzitten van ouders met een lage opleiding, extra leerkrachten aantrekken'.

---

## ■ 'Moet je dan huwelijken tussen ■ bepaalde groepen mensen gaan verbieden?'

---

het ook terug in het Calvinisme. Het denkbeeld is zeker niet nieuw, het is een culturele erven, die op het eind van de vorige eeuw werd verbonden met ideeën over evolutie en genetica. Dat heeft toen geleid tot allerlei rassentheorieën, die uiteindelijk culmineerden in de nazi-ideeën over Über- en Untermensch.' 'Na de Tweede Wereldoorlog heeft men, als gevolg van de vreselijke effecten van de nazi-ideologie die ideeën afgezworen en ging men op zoek naar mogelijkheden om iets als intelligentie te beïnvloeden met onderwijsprogramma's en dergelijke. In de Verenigde Staten gebeurde dat mede onder invloed van de Sputnik-shock, het feit dat de Russen eerder dan de Amerikanen een man in de ruimte hadden.'

'De pendel blijft echter heen en weer gaan. Sinds de jaren zeventig wordt er weer gesproken over de invloed van de genen op het gedrag van mensen, de sociobiologie. Er wordt ook weer gesproken over de invloed van genen op de persoonlijkheid, over de genetische bepaaldheid van psychische aandoeningen als schizofrenie en depressiviteit. Een nieuwe variant op het voorbeschikkingsidee.'

'De pendel van het determinisme, in deze tijd de erfelijke voorbeschikking blijft heen en weer zwaaien. Ik weet niet hoe dat komt. Ik denk dat het te maken heeft met de grondtoon van de economische ontwikkeling'.

'Het genetisch determinisme bloeide enorm op in de jaren dertig van deze eeuw, ook in de Verenigde Staten. Je ziet het weer opkomen in de jaren zeventig, eveneens jaren van economische teruggang.'

'Als het economisch goed gaat dan kunnen we alles aan. Aan het eind van de achttiende eeuw begon de Industriële Revolutie. In die tijd duiken ook allerlei geschriften op over de gelijkheid van mensen en de potentiële mogelijkheden die ze hebben. Kijk naar de Amerikaanse constitutie, in die dagen gemaakt: All men are created equal.'

'Als het economisch slecht gaat wordt men overvallen door fatalisme; het ligt in de aard der dingen. Dat is mogelijk een voedingsbodem voor dat erfelijke determinisme.'

---

## ■ Tweelingen ■

---

Aanleiding voor het gesprek met Vroon is een artikel in het Amerikaanse wetenschaps-tijdschrift Science. Daarin

wordt een aantal tweelingonderzoeken beschreven, waaruit zou blijken dat de ontwikkeling van de persoonlijkheid gestuurd wordt door de genen. Eigenschappen als criminaliteit, alcoholisme, dominantie, extrovertheid, sexualiteit, intelligentie, autoriteitgevoeligheid en zelfs politieke voorkeuren zouden volgens dit type onderzoek minimaal voor de helft erfelijk zijn bepaald.

Vroon kan kort zijn over dit soort onderzoek: 'Het is vreselijk moeilijk om een psychologische test te ontwikkelen om verschillen tussen mensen te meten. De persoonlijkheidsleer, zeg maar het onderzoek naar persoonlijkheid, is het minst ontwikkelde vakgebied in de psychologie. Het is nog steeds niet gelukt om daarvoor een behoorlijke test te ontwikkelen. Het is überhaupt nog nooit gelukt om een test te ontwikkelen die enige voorspellende waarde



(Foto: Klaas Koppe)

heeft voor het gedrag van mensen. Met andere woorden, in de psychologie hebben we geen behoorlijk meet-

instrument om persoonlijkheidseigenschappen te meten en eventueel gedrag te voorspellen. Het gaat mij veel te ver om onderontwikkelde meetinstrumenten te gebruiken om na te gaan of bepaalde eigenschappen al of niet genetisch bepaald zijn.'

In het artikel in Science worden echter enkele frappante voorbeelden aangehaald van eeneiige tweelingen, die kort na de geboorte van elkaar gescheiden zijn en na veertig jaar toch sterke overeenkomsten in gedrag vertonen.

Zo droegen Oskar Stohr en Jack Yufe, veertigers en elk de helft van een eeneiige tweeling, beide een blauw sportoverhemd, een snor en een draadbrilletje toen zijn zich meldden voor het genetisch gedragsonderzoek van Thomas J. Bouchard van de universiteit van Minnesota.

hand van de IQ-test voor het keuren van dienstplichtigen. De test wordt al jaren gebruikt en is redelijk geschikt voor het meten van intelligentie, zijnde schoolprestaties. Vroon en zijn medewerkers vergeleken de resultaten van vaders en zoons. 'Uit het onderzoek bleek,' aldus Vroon, 'dat zoons inderdaad iets te maken hadden met hun vader. Dat iets was heel weinig en je kon niet uitmaken of de minimale overeenkomsten ervelijker waren bepaald dan wel bepaald door milieuvloeden.'

#### Zuigelingen

Al met al meent Vroon dat het onderzoek naar de vraag of eigenschappen, gedrag en persoonlijkheid nu wel of niet erfelijk bepaald zijn, weinig zin heeft. 'Veel belangrijker is

plaatjes en de tijd en de voorkeur die hij heeft voor plaatsjes van gezichten zijn een aanwijzing voor hun latere gedrag in de omgang met mensen.'

'Ook het emotionele temperament, zeg maar het vermogen om stabiele relaties aan te gaan wordt al in de eerste levensfase ontwikkeld. Dat heeft alles te maken, denk ik, met de relatie tussen ouder/verzorger en het kind. Kan het kind zich niet of onvoldoende hechten aan de ouders – en dat heeft niets te maken met het feit of het kind op een crèche is gedurende een deel van de dag, maar alles met de kwaliteit van het contact tussen ouders en kind – dat vertaalt dat zich in een onvermogen om op latere leeftijd emotioneel stabiele relaties aan te gaan.'

'Voor lood in de omgeving is nu toch wel min of meer aangevoeld dat het de intellectuele ontwikkeling van kinderen belemmt. We weten echter nog heel weinig van de invloed van andere metalen en van allerlei chemicaliën op de ontwikkeling van het zenuwstelsel en daarmee op persoonlijkheid en gedrag. Daar kun je onderzoek naar doen. Psychofysiologisch onderzoek is heel moeilijk, maar je kunt er uiteindelijk wel wat mee. Onderzoek naar de genetische bepaaldheid van gedrag en persoonlijkheid, daar kun je niks mee.'

### **'Iemand die sprekend op me leek, een bril had met glazen van min drie, net als ik, en in een gesprek de zinnen afmaakte die ik begon.'**

Vroon vindt dergelijke casuïstiek voornamelijk anekdotisch. 'Je hoort nooit over al die gevallen, waarin er geen of nauwelijks gelijkenis is. Bovendien,' zo vervolgt hij, 'is ook mij weleens zoets overkomen met iemand die volstrekt geen familie was. Iemand die sprekend op me leek, een bril had met glazen van min drie, net als ik, en in een gesprek de zinnen afmaakte die ik begon. Zulke dingen zeggen toch niets.'

Vroon heeft, halverwege de jaren zeventig, op het hoogtepunt van het debat over de vraag of intelligentie nu wel of niet erfelijk bepaald is, een onderzoek gedaan aan de

ontwikkeling van het kind in de eerste levensjaren, maar daar komt u niet voor.'

Na enig aandringen volgt: 'Uit tamelijk recent onderzoek is gebleken dat kinderen al in een heel vroege fase in hun leven, de eerste twee jaar, zeg maar, bepaalde persoonlijkheidskenmerken ontwikkelen. Of die er al bij de geboorte inzitten of niet valt niet te achterhalen. Daar kun je nog wel tot het jaar 3000 over discussiëren. Wel is het zo dat je eigenschappen als temperament en mogelijkheden om sociaal contact te maken al bij zuigelingen redelijk kunt voorspellen.'

'Een zuigeling kijkt ook naar

# ACTUEEL

Nieuws uit wetenschap, technologie en samenleving  
natuur en techniek

## Bliksem voorstellen

Sedert juni is Frankrijk het eerste land ter wereld dat over een net voor bliksemdetectie beschikt. Geen realisatie van de nationale meteorologische dienst, maar van een klein bedrijfje, met de goed gekozen naam Franklin France. In tegenstelling met Benjamin Franklin laat het echter geen vliegers op met een sleutel eraan, om af te wachten of bliksem genegen is om in te slaan. Het bedrijfje gebruikt een soort radio-ontvangers, die elektromagnetische straling van de ontlasting opvangen, en elektronisch verwerken, om er snel de typische bliksempatronen uit te filteren. Die toestellen werden ontwikkeld door het Amerikaanse bedrijf Lightning Location and Protection, op basis van het werk van prof Kreider, hoofd van de afdeling milieuproblemen bij de Nasa. Raketten en lanceerinstallaties zijn immers geliefkoosde doelwitten voor bliksems, die meestal het hoogste en meest spitse voorwerp kiezen om in te slaan. Dit jaar ging al één Amerikaanse raket door blikseminslag verloren.

In de VS zijn die detectoren, met een bereik van 800 km, al langer in gebruik. Frankrijk is echter het eerste land waar ze in een net zijn geschakeld. De gegevens gaan naar een rekencentrum in Parijs, waar ogenblikkelijk (in 'real time') positie, amplitude, inslaghoek, polarisatie, aantal overslagen heen en terug en tijdstip van de bliksem worden berekend.

Tot hier toe hebben we nog niet meer beschreven dan een heel dure manier om te weten dat er een inslag is geweest, maar daar heb je praktisch natuurlijk heel weinig aan. De computers bevatten

echter ook een rekenprogramma, dat de verplaatsing van de bliksemwolken kan voorspellen, en reikt tot 800 km buiten de Brettonse kust.

Dat programma levert ruim op tijd waarschuwingen, met een nauwkeurigheid van 1 tot 3 km. Als gewone burger bereik je die nauwkeurigheid ook wel door gewoon naar de lucht te kijken. Of nog eenvoudiger: zodra het tijdsverschil tussen lichtflits en donder tot negen seconden is geslonken weet je dat de inslagen tot op drie kilometer zijn genaderd en kun je desgewenst maatregelen nemen.

Interessanter wordt het voor beheerders van kabelnetten voor tv, hoogspanning of telefoon. Die kunnen op tijd een bedreigd deel uitschakelen en stroom of signalen een omweg laten maken. Voor 80 000 Franse francs per jaar kunnen ze zich op de waarschuwingsdienst abonneren.

Eerste klant werd de Franse weer-kundige dienst. Franklin France denkt er al aan om het systeem naar anderen landen uit te voeren, en vroeg alvast octrooi aan voor de detectoren.

(*Science et Avenir*)

Met de pas officieel in gebruik genomen 30-meter millimeter-telescoop op de Pico Veleta in Zuid-Spanje werd voor het eerst methanol buiten onze melkweg waargenomen. (Foto: MPG)

## Methanol buiten de melkweg

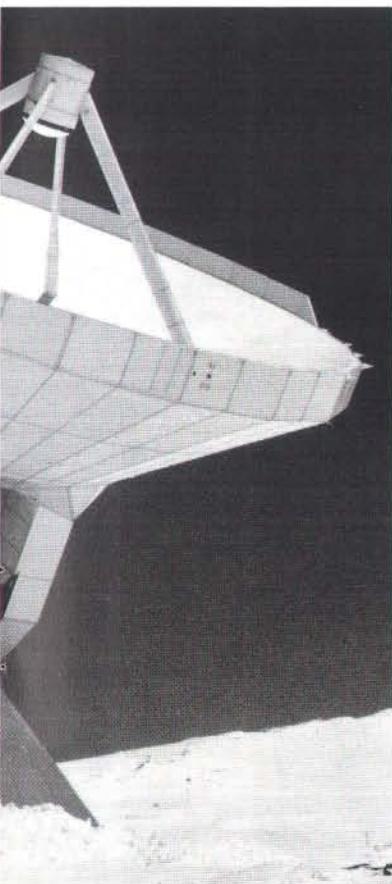
Methanol,  $\text{CH}_3\text{OH}$ , is het meest gecompliceerde moleculu dat tot nu toe in de ruimte buiten de melkweg is aangetroffen. Deze stof werd ontdekt in de sterrenstelsels IC 343 en NGC 253 met de nieuwe 30-meter radiotelescoop voor het millimetergebied van Pico Veleta in Spanje. De sterrenstelsels staan zo'n tien mil-



joen lichtjaren van ons verwijderd. Het signaal waarmee methanol werd waargenomen had een golflengte van 3 mm.

De ontdekking vond in de eerste week van september plaats, terwijl de nieuwe millimetertelescoop pas op 14 september officieel geopend werd. Het observatorium is een samenwerkingsverband tussen het Max-Planck-Instituut voor Radioastronomie en het Duits-Franse Instituut voor Radioastronomie in het Millimetergebied (IRAM). De telescoop is op 2850 meter hoogte op de Pico Veleta nabij Granada in Zuid-Spanje gebouwd.

(*Persbericht Max-Planck-Gesellschaft*)



## Oecologische Flora, deel II

Weeda EJ, Nederlandse oecologische flora, deel II. Illustraties R. Ch. en T. Westra. 304 pagina's. Uitgegeven door IVN, VARA en VEWIN 1987. Prijs in de winkel f 75,-. Ook te bestellen door overmaking van f 75,- voor niet leden, en f 59,50 voor leden VARA en IVN op postgiro 347 147, tnv. IVN, Postbus 20123, 1000 HC Amsterdam, onder vermelding van Flora deel II.

In maart 1987 verscheen deel II van de oecologische flora, dat wil zeggen 1½ jaar na de verschijning van deel I, dat reeds in dit tijdschrift werd besproken (mei 1986, pag. V). De opzet van dit tweede deel is geheel identiek aan die van deel I.

Van iedere plant wordt een uitstekende beschrijving gegeven waarbij vooral ook ruime aandacht wordt geschonken aan veldkenmerken. Dat is op zichzelf al een zeer waardevolle aanwinst aan de literatuur betreffende de Nederlandse planten. Tevens worden ook uiterst verhelderende teksten gegeven bij de besprekking van de hogere taxonomische eenheden zoals families en geslachten. Deze beschrijvingen zijn voor een beter inzicht in de plantenmorphologie van zeer groot belang. In andere flora's zijn deze gedeelten over het algemeen juist erg summier. Bij de soortbeschrijvingen worden gegevens verschafft over de levenscyclus, het gehele verspreidingsgebied (areaal), het verspreidingspatroon in Nederland, de standplaats, de begeleidende soorten, de eventueel aanwezige specifieke relaties met dieren en/of schimmels en tenslotte soms opmerkingen over de gebruikswaarde met name in de volksgeneeskunde. Ook deel II is voortreffelijk verzorgd en geeft een schat aan informatie voor iedere serieuze plantenliefhebber. Ik blijf echter van mening dat deze oecologische flora niet erg ge-

schikt is voor de beginnende natuurliefhebber omdat het voor hem vaak niet mogelijk zal zijn om de plant die hij gevonden heeft op naam te brengen met dit boek. Alhoewel de interessante gegevens die op die betreffende plant staan wel in de oecologische flora staan, blijft de beginneling zitten met de frustraties: waar staan nou die interessante gegevens over de plant die ik zojuist heb gevonden. Deze kloof is wel overbrugbaar, maar met gewone flora's die op zichzelf overigens ook nogal moeilijk toegankelijk zijn. Het is daarom onjuist om te suggereren – zoals herhaaldelijk wordt gedaan – dat de oecologische flora een ideaal boek is voor wie met de plantenstudie wil aangaan of wie eens wil uitzoeken wat de naam is van de plant die je gevonden hebt.

De volgorde van de plantebesprekkingen die in de oecologische flora wordt gebruikt is dezelfde als in Heukels, Nederlandse flora, 20e druk. Dat is wel iets bijzonders, want een oecologische flora handelt over de oecologische gegevens van de planten. Het is dan ook opvallend dat in het boek gekozen is voor een indeling afkomstig van plantensystematici. De summiere argumentatie die daarvoor wordt gegeven (pag. 6, deel I) vind ik weinig overtuigend: "In de praktijk blijkt het moeilijk om op grond van de oecologische eigenschappen (zoals levensvorm, grootte, beharing, blad- en bloemkleur, voorkommen) een bruikbare indeling te baseren, onder meer wegens de veranderlijkheid van planten in veel van hun kenmerken". Voor een specifieke oecologische flora lijkt mij echter het gebruik van een indeling die een oecologische systeem volgt wat meer voor de hand te liggen. Het is ook wel inconsequent dat in een aantal gevallen toch weer is afgeweken van deze volgorde. Om druktechnische redenen werden zelfs vier families her en der uit deel II weggelaten en doorgeschoven naar deel III. Het is natuurlijk verve-

lend als je een plant gedetermineerd hebt in de Heukels flora en je wilt die dan even opzoeken in de oecologische flora, om de plant dan nergens meer terug vinden, zoals mij diverse malen overkwam.

Gelukkig heeft men – eveneens om druktechnische redenen – toch nog op het laatste moment besloten om de Nederlandse namen niet aan te passen aan de nieuwste naamlijst die in december 1986 werd gepubliceerd in het vakblad voor floristen (*Gorteria*). Mijn inziens zou deze aanpassing een ramp zijn geweest omdat de aansluiting met de laatste druk van Heukels flora daarmee slechter zou zijn geworden. Tevens is het volgens mij zeer ongebruikelijk en onverstandig, om in een drielijng standaardwerk, in de verschillende delen, verschillende naamlijsten te gebruiken.

Helaas bevat ook dit deel, zoals deel I, geen voorwoord. Misschien mogen we in het derde deel nog eens horen hoe het gesteld is met de ontstaansgeschiedenis van het boek – of zou dit zo problematisch zijn geweest dat daar niets over vermeld kan worden?

Tenslotte hoop ik dat er nog twee delen zullen verschijnen in plaats van één. Men is nu pas met deel II op de helft van de Heukels flora aangekomen. Het zou heel jammer zijn om de hele tweede helft in het derde deel van de oecologische flora samen te persen. Er blijft dan, vrees ik, te weinig over van de schat aan gegevens die over al die planten te vertellen is.

Samenvattend kan worden gesteld dat deze oecologische flora een zeer waardevolle aanwinst vormt voor de botanische Nederlandse literatuur. Voor beginners lijkt het werk echter minder geschikt; voor hen zijn er eenvoudigere en betere alternatieven om de eerste schreden te zetten op het moeilijke pad van de plantenstudie.

M.N.B.M. Driessen

## Dimensies in de Natuur

**Wilfried Kruit en Govert Schilling.** *Dimensies in de natuur*. Amsterdam: Aramith Uitgevers, 1987. 184 blz., ISBN 90 6834 026 3, Prijs f 32,50

Wij mensen kunnen ons het aantal zes nog net voorstellen. Zeven is al moeilijker te overzien. Daarboven hebben we ezelsbruggetjes nodig. Die helpen niet meer als we ons 120 triljard willen voorstellen, ook niet als we weten dat dat getal geschreven wordt als 120 000 000 000 000 000 000 000 of – met een ander ezelsbruggetje – als  $1,2 \times 10^{23}$ . Hoe kun je je dan in hemelsnaam de afstand tot het verstuiverde hemellichaam, een quasar, voorstellen, die gelijk is aan dit aantal kilometers? Hoe bedenk je dat het licht van die quasar 12 miljard jaar nodig had om ons te bereiken? Het vertrok toen er van ons zonnestelsel nog geen spoor te bekennen was. Hoe ongelooflijk lang 12 miljard jaar duurt en hoe groot een afstand van  $1,2 \times 10^{23}$  km is, wordt je enigszins duidelijk wanneer je het eerste deel van het boek 'Dimensies in de Natuur' leest.

Een voorbeeld. Als we onze zon een biljoenvoud verkleinen tot een bolletje met een diameter van slechts 1,4 mm, beweegt de dichterbijzijnde ster zich op een afstand van .... 40 km. Daartussen bevindt zich vrijwel niets. Ook de andere sterren (een miljard alleen al in onze Melkweg) liggen op deze schaal tientallen kilometers uit elkaar. 'Onvoorstelbaar' is dan ook het sleutelwoord in dit boeiend geschreven eerste deel.

Halverwege het boek maken we via dimensies van het verstand een sprong naar aanleven gebonden maten. Hoewel de opzet leuk en logisch is, komt de overgang toch wat hard aan; het is alsof je plotseling een ander boek leest. Het wordt er echter niet minder

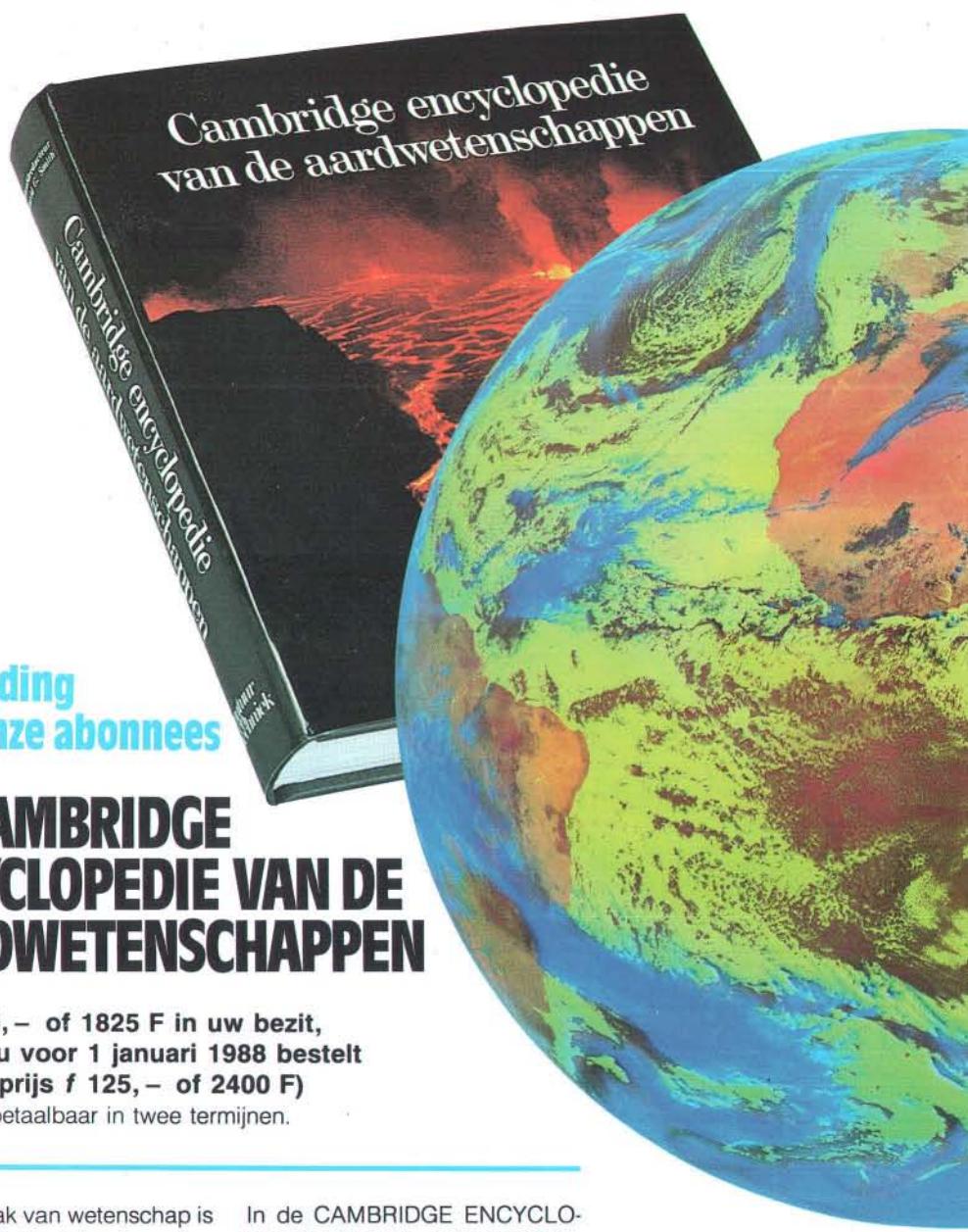
interessant op. Over de intelligentie van de dolfijn en over de domheid van de dinosaurus gaat dat hoofdstuk. Het wordt echter pas echt leuk wanneer de dimensies van de lilliputters uit Swifts boek 'Gullivers reizen' onder de loep worden genomen. Lilliputters zijn tot circa 15 cm lineair verkleinde mensen, die ergens ten zuiden van Indonesië zouden leven. Om werkelijk te kunnen overleven en om met Gulliver van normale menselijke grootte te kunnen communiceren zouden ze er als enigszins bolle, van een dikke vacht voorziene wezentjes hebben moeten uitzien, uitgerust met grote oren en ogen. Zo ongeveer als muizen dus. Een menselijke culturele ontwikkeling zouden ze als mensjes van een dergelijk formaat onmogelijk hebben kunnen doormaken.

Cultuur is aan een groottegrens verbonden. Dat brengt ons automatisch op het vreemde verschijnsel dat de menselijke soort wel tot culturele prestaties in staat is. Waren wij een stukje groter of kleiner geweest, dan zou van de gehele menselijke beschaving niets terecht gekomen zijn.

Alle leven op aarde is gebonden aan uiterste maten. Waarom is het kleinste levende insektje niet kleiner dan 0,2 mm en wat is de maximale grootte van een levend wezen? Heel bepalend zo leren we, is de veranderende verhouding tussen inhoud en oppervlak van de dierjes. Ook het bouwplan laat slechts bepaalde afmetingen toe. Het tweede deel van het boek eindigt met dimensies van actie, met onder meer de ontspannen slingerbeweging van wandelende benen versus het energievretende hardlopen.

Aardig in het boek tenslotte zijn de toepasselijke illustraties: foto's van astronomische objecten, maar nu eens op dezelfde schaal afgebeeld, en de overzichtelijke tekeningen. Je leest het zoals je naar een documentaire kijkt.

Jac Niessen



Aanbieding

voor onze abonnees

## DE CAMBRIDGE ENCYCLOPEDIE VAN DE AARDWETENSCHAPPEN

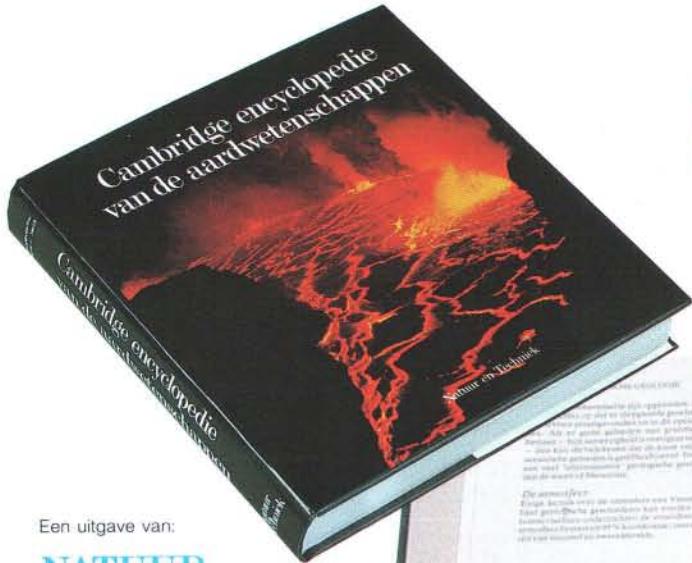
Voor f 95,- of 1825 F in uw bezit,  
wanneer u voor 1 januari 1988 bestelt  
(normale prijs f 125,- of 2400 F)

Eventueel betaalbaar in twee termijnen.

Als er een tak van wetenschap is die de laatste tientallen jaren bepaald niet stil heeft gestaan, is het wel die van de aardwetenschappen. Nieuwe ideeën en onderzoekstechnieken gaven ons in korte tijd een geheel nieuwe kijk op de aarde. Veel gevestigde opvattingen moesten worden herzien. Een belangrijke rol speelde hierbij de ruimtevaart, die ons letterlijk in staat stelde de aarde voor het eerst vanuit een heel andere hoek te bekijken.

In de CAMBRIDGE ENCYCLOPEDIE VAN DE AARDWETENSCHAPPEN worden de moderne inzichten in hun onderlinge samenhang behandeld door een internationaal team van deskundigen. Het is een degelijk en fraai uitgevoerd boek van 495 pagina's, in linnen band met los stofomslag, ruim voorzien van foto's en verduidelijkende tekeningen in kleur. Voor uw bestelling kunt u gebruik maken van de in dit nummer gevoegde kaart.

Een nieuwe  
kijk op de  
aarde

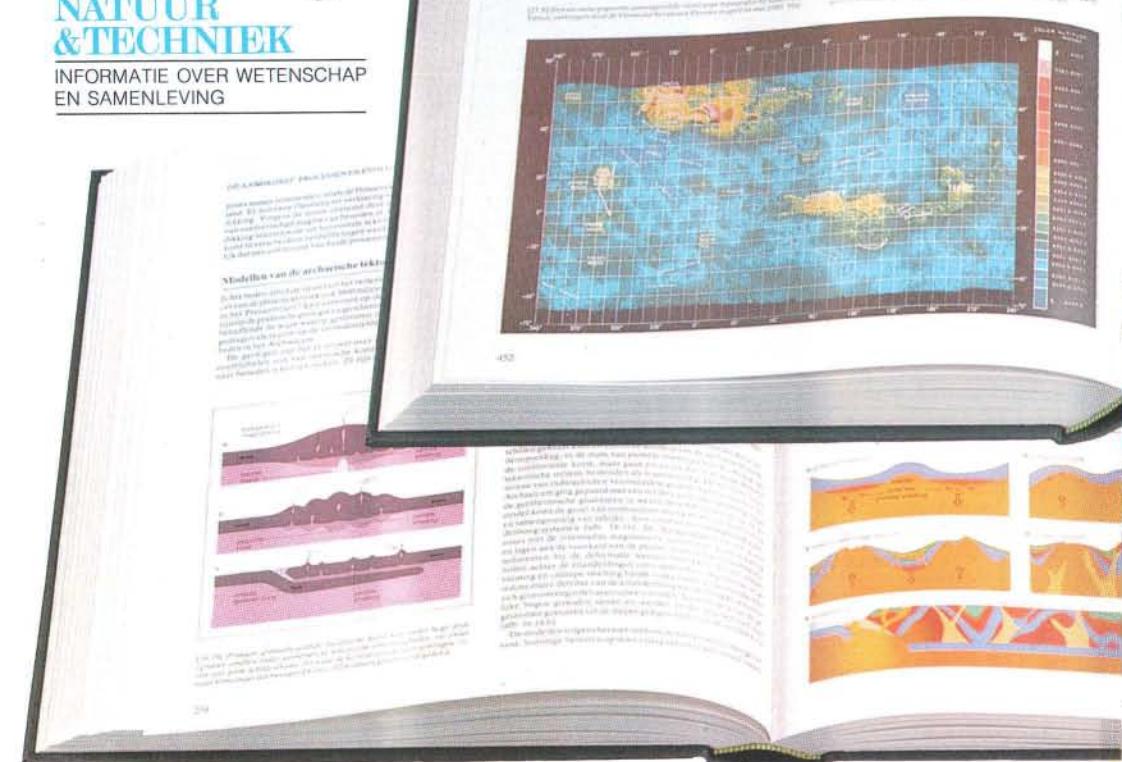


Een uitgave van:

## NATUUR & TECHNIEK

INFORMATIE OVER WETENSCHAP  
EN SAMENLEVING

## De Cambridge Encyclopedie van de Aardwetenschappen



Het gebeurt zelden dat wetenschappelijke onderzoekers deelgenoot zijn aan een episode waarin inzichten zo snel en fundamenteel veranderen dat termen als 'wetenschappelijke revolutie' gebruikt kunnen worden. Toch is dit de laatste decennia in de aardwetenschappen gebeurd.

De revolutie brak in het begin van de jaren zestig in Cambridge uit dank zij een bezoeker uit Princeton, Harry Hess, die de oceaanbekkens beschreef als veranderlijke verschijnselen. Hij ontketende een kettingreactie van theorieën en tegentheorieën, die uiteindelijk uitmonde in de platentektoniek.

Voor het eerst had men een verklaring voor de verspreiding van oceaanbekkens, de vorming van gebertekkens, het optreden van aardbevingen en vulkanen. Bovendien kon de theorie getoetst worden. In 1969 begon het grootste en meest prestigieuze project uit de geschiedenis van de

aardwetenschappen, het Deep Sea Drilling Project.

Tegelijkertijd leverde de ruimtevaart een nieuwe – en scherpe – blik op onze planeet. Veel van de fundamentele dogma's bleken op hun beste halve waarheden, als ze al niet helemaal fout waren.

Er ontstond een nieuwe synthese, die door een groep internationale deskundigen neergelegd werd in de *Cambridge Encyclopedie van de Aardwetenschappen*. Meteen na het gereedkomen startte de redactie van Natuur en Techniek met een Nederlandse versie.

De bekende Belgische meteoroloog Armand Pien schreef in een recensie het volgende:

*De in het tijdperk van de ruimtevaart sterk toegenomen belangstelling voor het heelal gaat samen met een in gelijke mate groeiende belangstelling voor onze eigen woonplaats, de planeet Aarde. [...] Er bestaat dus ook een duidelijke behoefte aan een goed toegankelijke bron die alle kennis over de aarde helder ontsluit. [...]*

*Een fraai uitgevoerd standaardwerk [...] met markante kleurenfoto's die alle aspecten van de aardwetenschappen belichten – niet alleen geologie, geochemie en geofysica. Maar ook daarmee samenhangende vakgebieden en onderwerpen zoals meteorologie, milieu, energie, delfstoffen, mineralen, paleontologie, de evolutie van het leven op aarde en de plaats van de aarde tussen de planeten en de sterren. [...] Hierdoor is de Cambridge Encyclopedie van de Aardwetenschappen zowel een leerzaam boek voor algemene oriëntatie als een nuttig naslagwerk geworden.*

Armand Pien



## Uit de inhoud

- Geschiedenis van de aardwetenschappen
- Geofysica
- Geochemie
- Procesen in de aardkorst
- Evolutie van de aardkorst
- Oppervlakteprocessen en milieus
- Ontstaan van het leven
- Teledetectie en andere technieken
- De economie van de grondstoffen
- Geologische gevaren
- Extraterrestrische geologie

## INHOUD

495 pagina's,  
517 illustraties,  
merendeels in kleur,  
verklarende woordenlijst,  
uitgebreid register.

## FORMAAT

27 x 25,5 cm

## AUTEURS

geschreven door 32 wetenschapsmensen van naam.

Prijs: f 125,- of 2400 F.  
Voor abonnees: f 95,- of  
1825 F (geldig t/m 31 decem-  
ber 1987).

ISBN 90 228 2242 7

## OPGAVEN &

### Vragen?

De toetsvragen, bedoeld om Natuur & Techniek in het onderwijs beter bruikbaar te maken, hebben deze maand betrekking op het artikel over kaasbereiding, op de pagina's 892-904.  
Deze vragen zijn opgesteld door drs J. Bouma en drs A.J. Mast, chemiedidactici aan de Vrije Universiteit in Amsterdam.



1. Bij het stremmen van melk zijn zowel caseïne als chymotrypsine betrokken. Wat gebeurt er chemisch gezien?
2. Welke stoffen bevat wei?
3. Waaruit produceren melkzuurbacteriën melkzuur?
4. In welke opzichten verschilt ondernmelk van rauwe melk?
5. Leg uit dat bij het proces waarbij wrongel en wei gescheiden worden, de gebruikte hoeveelheid water van invloed is op het melksuurgehalte.
6. Met welk doel pektelt men kaas?
7. a. Wat verstaat men onder een micel?  
b. Waaruit bestaat het verschil tussen hydrofiel en hydrofoob?  
c. Verklaar waardoor de hydrofiele delen van een micel elkaar afstoten.
8. a. Zoek in het tabellenboek de structuurformules van de aminozuren fenylyalanine en methionine op.  
b. Geef in structuurformules het

## PRIJSVRAAG

splitsen van de binding tussen deze twee aminozuren in een polypeptide weer.

9. Wat verstaat men onder de glycolytische omzetting van melkzuur?
10. Verklaar waarom de zuurselbacteriën in bevroren toestand goed kunnen worden bewaard.
11. Waarom is het zo belangrijk dat het concentratie zuurselbacteriën aseptisch in de kweekbak wordt gebracht.
12. a. Leg aan de hand van een reactievergelijking uit dat een lage pH voor de drainage leidt tot een lager calciumfosfaatgehalte van de uiteindelijke kaas.  
b. Leg uit dat een laag fosfaatgehalte in de jonge kaas aanleiding geeft tot een lage uiteindelijke pH in de kaas.



Ronny Segers uit Puurs in België stuurde deze foto van druppels op een geverfde ondergrond. De spreiding van de druppels, wat plaats en grootte betreft, volgt statistische wetten. Natuur en techniek op een ook technisch goede opname, zo vond de jury en was deze maand unaniem in haar oordeel.

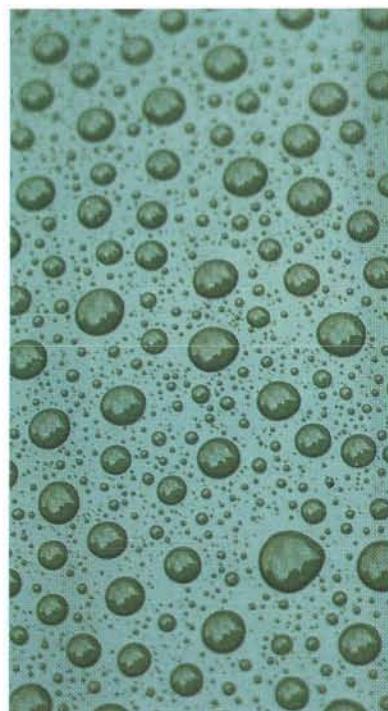
Nieuwe inzendingen zijn steeds welkom, te richten aan:  
Natuur & Techniek  
Foto van de Maand  
Postbus 415  
6200 Maastricht

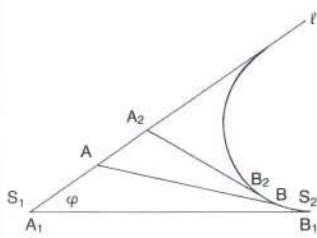
### Prijsvraag

#### Oplossing september

Prachtige oplossingen stuurde u naar aanleiding van de vraag in het septembernummer over het schip dat wanhopig probeert een ander schip te bereiken.

Twee schepen varen even snel, zo luidde de opgave,  $S_1$  bevindt zich op gegeven moment in A en vaart langs lijn 1. Schip  $S_2$  is op dat moment in B en probeert het andere schip te bereiken door steeds in de richting ervan te varen. De lijn 1 maakt een hoek  $\varphi$  met AB. De vraag was hoe groot de hoek  $\varphi$  maximaal mag zijn om  $S_2$  toch in staat te stellen  $S_1$  te bereiken. De puzzelredactie ontving logische redeneringen, grafieken en berekeningen, dikwijls in combinatie. Bij de oplossing die we hier





geven volstaan we met een redenering die een contradictie oplevert.

Of  $S_1$  door  $S_2$  wordt bereikt is alleen afhankelijk van  $\varphi$  en niet van de afstand  $AB$ , want vermenigvuldiging van de figuur heeft geen invloed op het al of niet bereiken van  $S_1$ . Beschouw nu de

situatie in de figuur met  $B$ ,  $B_1$  en  $B_2$ , respectievelijk  $A$ ,  $A_1$  en  $A_2$ . Als nu bij een of andere  $\varphi$  het ene schip het andere wel of juist niet kan bereiken, dan is dat ook het geval voor de hoeken  $\varphi$  die iets groter of kleiner zijn.

Veronderstel nu dat er een  $\varphi$  is waarbij  $S_1$  wel bereikbaar is. De verzameling waarden van  $\varphi$  waarbij  $S_1$  wel bereikbaar is, is dan niet leeg en naar boven begrensd en heeft dus een boven-grens  $\varphi$ . Het is in ieder geval duidelijk dat bij  $\varphi = 90^\circ$  de schepen elkaar niet bereiken. Bij de veronderstelling dat er van  $0^\circ$  verschillende waarden voor  $\varphi$  zijn waarbij de beide schepen elkaar zullen raken moet het dus zo zijn dat er rond de boven-grens  $\varphi$  waarden van  $\varphi$  zijn, waarvoor  $S_1$

wel en waarden waarvoor  $S_1$  niet bereikbaar is. Dit is een tegenstelling die niet mag optreden. De conclusie moet zijn dat voor elke van  $0^\circ$  verschillende waarde van  $\varphi$  het schip  $S_2$  het andere schip niet zal bereiken.

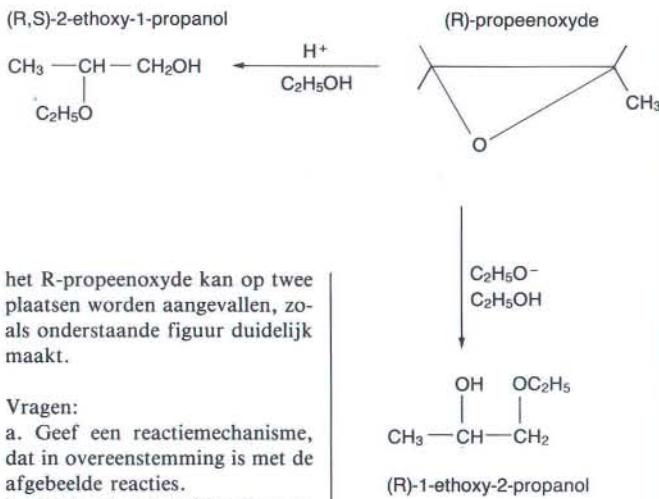
Uit de goede inzenders is na de loting die van J.M. Meinders uit Groningen als winnende tevoorschijn gekomen. Hij ontvangt een boek uit de serie de Wetenschappelijke Bibliotheek die bij Natuur & Techniek wordt uitgegeven. Bovenaan de ladder verscheen Hugo Kroese uit Hilversum, die daarvoor een gratis jaarabonnement krijgt. Voor de derde achtereenvolgende maand had de winnaar 54 punten, wat betekent dat het maximum niet groeit.

#### De nieuwe opgave

Wij weten dat uit het aantal inzendingen dat u, om een overigens onbegrepen reden, niet erg warm loopt voor chemie-opgaven. Hier is er echter weer een. Het streven is door het jaar heen evenveel natuurkunde-, chemie- en wiskundeopgaven te plaatsen. De winnaars van de ladderprijs horen dan ook van alle markten thuis te zijn. Deze opgave is beschikbaar gesteld door de organisatoren van de Nederlandse Chemieolympiade.

Molekülen mit drieringen haben eine große ringspannung, aangezien ein hoek von  $60^\circ$  sehr sterk afwijkt von der normale tetraädrische hoek von ungefähr  $109^\circ$ . Daarom ist, in stark contrast mit gewone ethers, ethenoxyde een zeer reactieve verbinding. Veel verbindingen reageren mit ethenoxyde, waarbij der ring geopend wordt. Daarbij verdwijnt uiteraard die ringspanning. Een van de epoxyden (de algemene naam voor de homologe reeks met ethenoxyde als eerste term),





het R-propeenoxyde kan op twee plaatsen worden aangevallen, zoals onderstaande figuur duidelijk maakt.

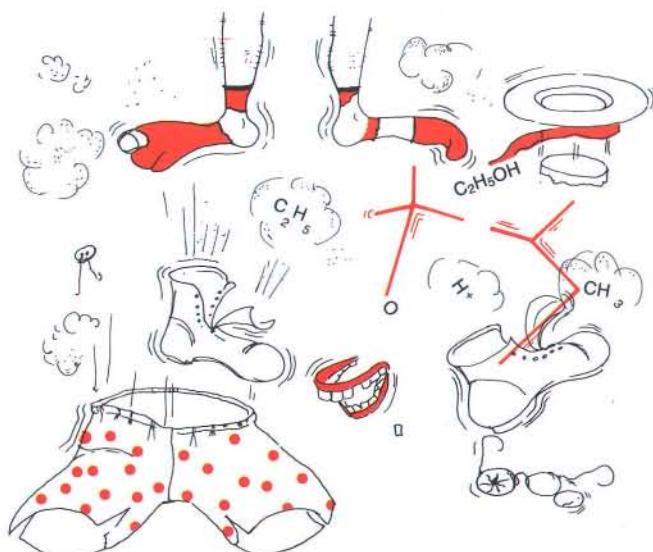
Vragen:

- Geef een reactiemechanisme, dat in overeenstemming is met de afgebeelde reacties.
- Geef een ruimtelijke formule van (R)-1-ethoxy-propanol.

Inzendingen moeten uiterlijk 10 december op de redactie zijn. Onder de goede inzendingen verloten we een boek uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur & Techniek. Goede, maar ook gedeeltelijk goede inzendingen worden geregistreerd voor de laddercompetitie. Een goede oplossing levert zes punten op, gedeeltelijk goede naar verhouding minder. Iedere maand wordt onder degenen die helemaal boven-

aan de ladder staan een gratis jaarabonnement op Natuur & Techniek verloot.

Inzendingen te richten aan:  
Natuur & Techniek  
Prijsvraag  
Postbus 415  
6200 AK Maastricht.  
Vermelding van volledige naam en adres op de envelop is voor ons makkelijk bij de verwerking.



NATUUR en TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau B.V. te Maastricht.

Redactie en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland:  
Postbus 415, 6200 AK Maastricht.  
Telefoon: 043-254044\*.

Voor België:  
Tervurenlaan 32, 1040-Brussel.  
Telefoon: 00-3143254044.

Bezoekadres:  
Stokstraat 24, Maastricht.  
Advertenties:  
R. van Eck: tel. 043-254044.

De Centrale Uitgeverij is ook uitgever van de Cahiers van de Stichting Bio-Wetenschappen en Maatschappij.

Abonnees op Natuur en Techniek of studenten kunnen zich abonneren op deze cahiers (4 x per jaar) voor de gereduceerde prijs van f 25,- of 485 F.

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto):

Voor Nederland, resp. België:  
f 105,- of 2025 F. (per 1-1-'88)  
Prijs voor studenten: f 80,- of 1550 F. (per 1-1-'88)  
Overige landen: + f 35,- extra porto (zeepost) of + f 45,- tot f 120,- (luchtpost).

Losse nummers: f 9,25 of 175 F (excl. verzendkosten).

Abonnementen op NATUUR en TECHNIEK kunnen ingaan per 1 januari óf per 1 juli, (eventueel met terugwerkende kracht) doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementssjaar.

Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang. TUSSENTIJDSDENKEN kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Postrekeningen:

Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v. Natuur en Techniek te Maastricht.

Voor België: nr. 000-0157074-31 t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

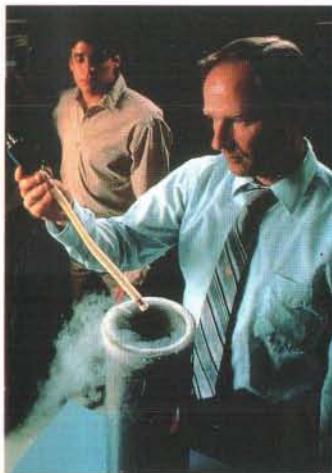
Bankrelaties:

Voor Nederland: AMRO-Bank N.V. te Heerlen, nr. 44.82.00.015.

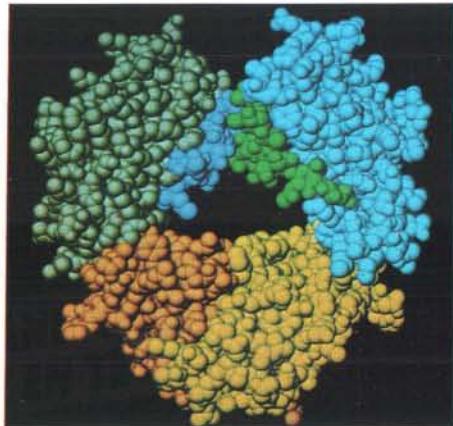
Voor België: Kredietbank Brussel, nr. 437.6140651-07.

# VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK

## Nobelprijzen

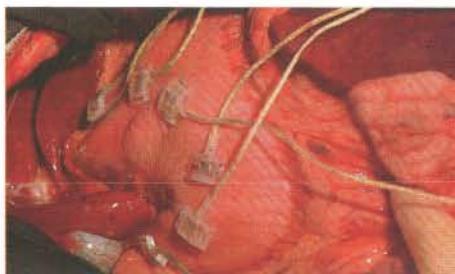
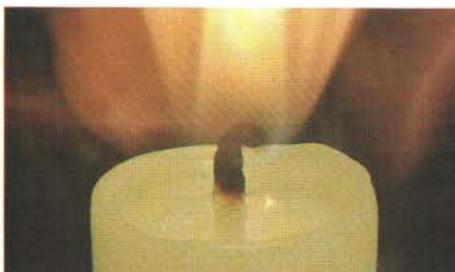


Opnieuw is een aantal vooraanstaande onderzoekers beloond met een Nobelprijs. De natuurkundeprijs was voor de ontdekkers van nieuwe supergeleidende materialen. De opheldering van de genetische achtergrond van de antilichaamdiversiteit was goed voor een prijs evenals de chemische manipulaties die tot de creatie van kunstmatige enzymen leidden. Verschillende auteurs doen de verdiensten van de diverse laureaten uit de doeken.



## Champagne

Tot de eerste knallen die in het nieuwe jaar klinken behoren die van ontkurkte champagneflessen. Champagne is een wijn die zich in veel opzichten van andere onderscheidt. Dr ir B. Duteurtre beschrijft wat champagne zo bijzonder maakt en laat zien dat ook hier de moderne biotechnologie een rol speelt.



## Spijsvertering

Wanneer we aanzitten aan het kerstdiner is het hard werken geblassen voor het maagdarmstelsel. Prof dr G.A. Charbon en C.J. van der Grond be-

schrijven de manier waarop het voedsel zijn weg door het lichaam aflegt, met nadruk op de motoriek, de bewegingen, van het maagdarmstelsel.

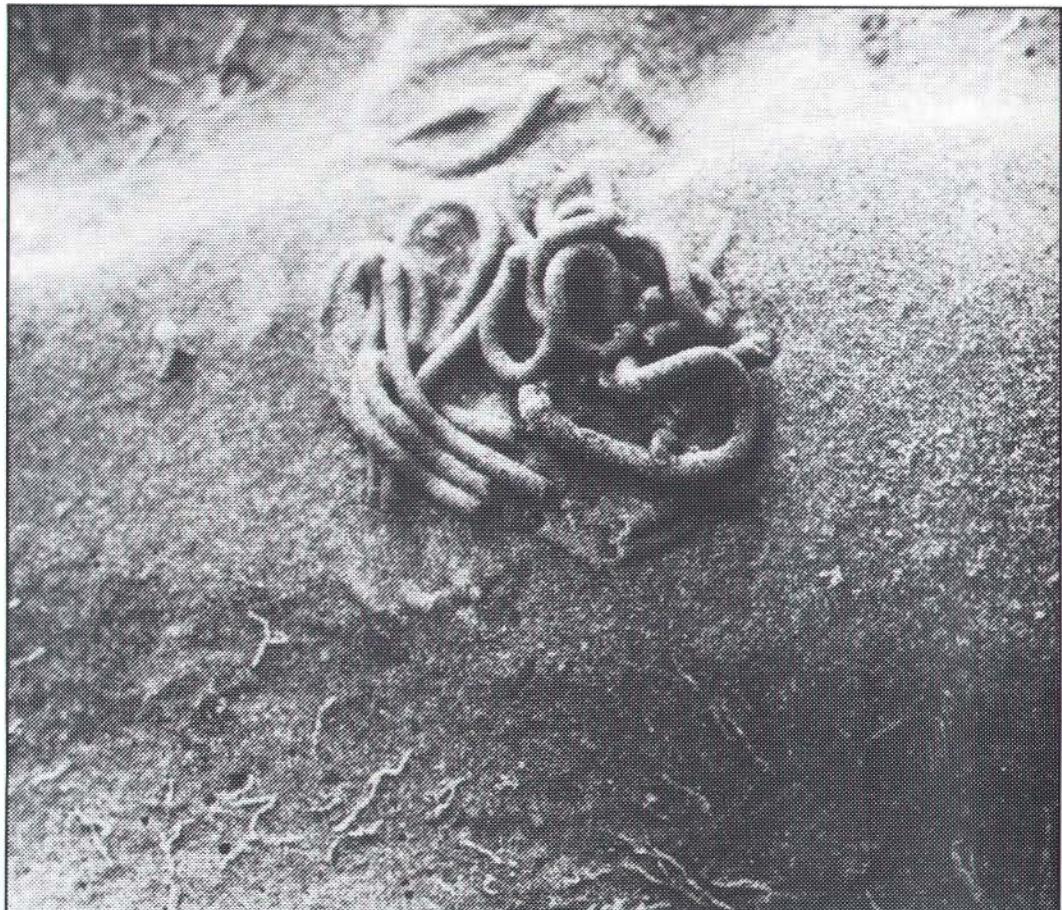
## Vlammen

Het ontsteken van een kaars in de kerstboom brengt een groot aantal fysische en chemische processen op gang die de verbranding in stand houden. Drs W. Klijn geeft daarvan een overzicht en gaat bovendien in op de gevolgen van een uit de hand gelopen kaarsvlam: brand en de bestrijding daarvan.

## Colloïden

De gemiddelde kok, werkend aan het kerstdiner zal er wel niet bij stilstaan, maar als zij een saus als de bérarnaisesaus maakt, creeert zij in feite een complexe colloïde, een emulsie van olie in water. Dr ir N.C. de Jaeger geeft een recept en een colloïdchemische uitleg.

# DEZE JONGEN KAN NIET ZONDER DIE ZANDBAK



Hoe klein ook, in de voedselrijke bodem van de Waddenzee leven miljoenen organismen. De wadpier van hierboven bijvoorbeeld, eet grote hoeveelheden zand om er voedsel uit te halen. Maar wanneer de bodem verontreinigd is, wordt zo'n 'zandeter' vergiftigd. Dat heeft ook gevolgen voor andere dieren uit de Waddenzee die van deze kleine organismen moeten leven. En die op hun beurt weer worden gegeten door andere wadbewoners. Een schone Waddenzee is één van de doelen die de Waddenvereniging al jaren nastreeft. En daartoe haar waarschuwende functie desgewenst omzet in actie. Zoals met onze huidige

kampagne voor een schone en levende Noordzee/Waddenzee. Wilt u meehelpen de zee levend te houden? Schrijf dan naar de Landelijke Vereniging tot Behoud van de Waddenzee, Antwoordnummer 90, 8800 XT Harlingen en geef u op als lid. Het lidmaatschap kost f 27,50 (of zoveel meer als u wilt geven), voor studenten en 65+ f 17,50. We hebben uw steun hard nodig.



VOOR HET WAD!  
DOE OOK WAT